



Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), Noviembre-Diciembre 2025,
Volumen 9, Número 6.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i6

TOPE HIDRÁULICO COMO SISTEMA DE BOMBEO MECÁNICO PARA APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA VEHICULAR

HYDRAULIC SPEED BUMP AS A MECHANICAL PUMPING SYSTEM FOR VEHICULAR ENERGY HARVESTING

Jorge Guzmán Herrera

Instituto Tecnológico Superior de Perote, México

Jesús Guzmán Martínez

Instituto Tecnológico Superior de Perote, México

Francisco Alberto Torres Moreno

Instituto Tecnológico Superior de Perote, México

Erick Iván Téllez Velazquez

Instituto Tecnológico Superior de Perote, México

Tope Hidráulico como Sistema de Bombeo Mecánico para Aprovechamiento de Energía Vehicular

Jorge Guzmán Herrera¹

doc-123@itsperote.edu.mx

Instituto Tecnológico Superior de Perote
México

Jesús Guzmán Martínez

doc-011@itsperote.edu.mx

Instituto Tecnológico Superior de Perote
México

Francisco Alberto Torres Moreno

doc-152@itsperote.edu.mx

Instituto Tecnológico Superior de Perote
México

Erick Iván Téllez Velazquez

Erick.ivan.tellez@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-0443-9208>

Instituto Tecnológico Superior de Perote
México

RESUMEN

El acceso al agua en entornos rurales y en instituciones con infraestructura hidráulica limitada continúa siendo un desafío técnico y económico, especialmente cuando el bombeo se basa exclusivamente en energía eléctrica o combustibles fósiles. En paralelo, el tránsito vehicular genera una cantidad significativa de energía cinética que habitualmente se disipa en forma de calor y deformación en los topes viales. En este contexto, el presente trabajo propone el diseño y análisis de un sistema de bombeo mecánico basado en un tope hidráulico, capaz de transformar la energía cinética vehicular en energía hidráulica para el transporte de agua hacia un depósito elevado dentro del Instituto Tecnológico Superior de Perote. La propuesta integra principios de las bombas de pedal de bajo costo. Se describe el diseño del prototipo tope-bomba, el dimensionamiento del cilindro de bombeo, la selección de válvulas y la configuración del tope, así como pruebas experimentales preliminares. Los resultados muestran que, bajo condiciones de tráfico representativas, el sistema es capaz de generar ciclos de bombeo repetitivos y desplazar volúmenes de agua suficiente para un servicio de baño que podrían complementar el suministro proveniente de bombas eléctricas convencionales.

Palabras clave: energía cinética vehicular, bombeo mecánico, bomba de ariete, sustentabilidad, hidráulica aplicada

¹ Autor principal

Correspondencia: Erick.ivan.tellez@gmail.com

Hydraulic Speed Bump as a Mechanical Pumping System for Vehicular Energy Harvesting

ABSTRACT

Access to water in rural environments and in institutions with limited hydraulic infrastructure remains a technical and economic challenge, especially when pumping relies exclusively on electrical energy or fossil fuels. At the same time, vehicular traffic generates a significant amount of kinetic energy that is usually dissipated in the form of heat and deformation at road speed bumps. In this context, the present work proposes the design and analysis of a mechanical pumping system based on a hydraulic speed bump, capable of converting vehicular kinetic energy into hydraulic energy for transporting water to an elevated storage tank within the Instituto Tecnológico Superior de Perote. The proposal integrates principles derived from low-cost treadle pumps. The design of the speed bump–pump prototype, the sizing of the pumping cylinder, the selection of valves, and the configuration of the speed bump are described, along with preliminary experimental tests. The results show that, under representative traffic conditions, the system is capable of generating repetitive pumping cycles and displacing sufficient volumes of water to supply a restroom service, which could complement the water supply provided by conventional electric pumps.

Keywords: vehicular kinetic energy, mechanical pumping, hydraulic ram pump, sustainability, applied hydraulics

*Artículo recibido 10 diciembre 2025
Aceptado para publicación: 10 enero 2026*



INTRODUCCIÓN

El acceso confiable al agua constituye un elemento clave para el desarrollo económico, social y ambiental de las comunidades. En numerosos contextos rurales y en instituciones educativas o de servicios, el suministro hídrico depende de sistemas de bombeo accionados por motores eléctricos o de combustión interna, los cuales implican costos elevados de operación, dependencia de la red eléctrica, emisiones contaminantes y vulnerabilidad ante fallas en el suministro de energía. Este escenario ha impulsado el interés por tecnologías de bombeo alternativas que aprovechen fuentes de energía mecánica o renovable disponibles localmente. Entre dichas tecnologías destacan las bombas de pedal o treadle pumps, que han sido ampliamente utilizadas en Asia y África como dispositivos de bajo costo para el riego a pequeña escala. Además, Drechsel et al. (2006) destacan que el uso eficiente del agua en agricultura requiere sistemas de captación y transporte que reduzcan pérdidas y dependencias energéticas. De acuerdo con el International Water Management Institute (2006), las tecnologías de gestión hídrica para pequeños agricultores deben priorizar simplicidad, accesibilidad y autonomía energética, principios alineados con el sistema tope-bomba. Merrey y Sally (2008) señalan que la operación comunitaria en sistemas de riego es determinante para la sostenibilidad de tecnologías hidráulicas, lo que sugiere que el dispositivo tope-bomba podría integrarse a esquemas de gestión local. Estos sistemas, accionados por la energía mecánica humana, han demostrado impactos positivos en la productividad agrícola, los ingresos de los hogares y la seguridad alimentaria (Mangisoni, 2008). La experiencia acumulada en torno a las bombas de pedal ha sido complementada por estudios de ergonomía, análisis cinemático y optimización estructural, orientados a mejorar su desempeño, reducir la fatiga del operador y maximizar el caudal bombeado (Bhat et al., 2020; Pereira et al., 2006; Santaefemia et al., 2014). De manera paralela, las bombas de ariete hidráulico constituyen una solución que aprovecha la energía del propio flujo de agua para elevar una fracción del caudal a una cota superior, sin necesidad de suministro eléctrico continuo. Investigaciones recientes han mostrado que parámetros como la altura de la válvula de descarga, el volumen de la cámara de aire y la geometría del sistema influyen de manera significativa en la eficiencia global del dispositivo (Othman et al., 2020; Rahman, 2025).



Estas tecnologías se enmarcan dentro de lo que se conoce como soluciones de energía verde para bombeo de agua. Por otro lado, el tránsito vehicular en zonas urbanas, campus universitarios y carreteras constituye una fuente de energía mecánica que, en la práctica, se desperdicia. Cuando un vehículo atraviesa un tope, gran parte de su energía cinética se disipa en forma de deformación y calor. Diversos autores han propuesto dispositivos capaces de aprovechar dicho paso vehicular para la generación de energía eléctrica o mecánica, mediante mecanismos de compresión, resortes y transmisiones (Chakraborty y Rahman, 2019; Olayemi y Adewale, 2022). Sin embargo, el uso de esta energía para accionar sistemas hidráulicos de bombeo ha sido poco explorado e implementados. La problemática que motiva este trabajo se sitúa en el contexto del Instituto Tecnológico Superior de Perote, donde existe la necesidad de reducir el consumo eléctrico asociado al bombeo de agua hacia depósitos elevados utilizados para servicios generales (limpieza, sanitarios, riego de áreas verdes). Simultáneamente, la institución presenta un flujo vehicular cotidiano en accesos y estacionamientos de un promedio de 70 vehículos al día, de lunes a sábado, lo cual constituye una fuente de energía mecánica potencialmente aprovechable. El objetivo general de este trabajo es diseñar, construir y evaluar un prototipo de sistema de bombeo mecánico basado en un tope hidráulico, que aproveche la energía cinética vehicular para impulsar agua hacia un depósito elevado dentro de la institución. Como objetivos específicos se plantean: (Fase 1) revisar el estado del arte de tecnologías de bombeo mecánico y de aprovechamiento de energía vehicular; (Fase 2) diseñar el mecanismo tope-bomba, dimensionando el cilindro de bombeo y los elementos estructurales; (Fase 3) construir un prototipo experimental e instrumentarlo para medición de parámetros básicos; y (Fase 4) analizar el desempeño preliminar del sistema, comparándolo cualitativamente con tecnologías afines reportadas en la literatura.

Teóricamente, el estudio se sustenta en los principios de conservación de la energía mecánica, en la hidráulica de bombas alternativas y en los fundamentos del diseño mecánico orientado a tecnologías de topes. La relevancia de esta investigación radica en que explora una vía no convencional de recuperación de energía residual, integrando experiencias previas en bombas de pedal y bombas de ariete con una aplicación concreta en un entorno Institucional. Además, contribuye a la discusión sobre soluciones de bajo costo y bajo impacto ambiental para el bombeo de agua en contextos donde existen necesidades de abastecimiento hídrico y flujo vehicular constante.



METODOLOGÍA

La presente investigación se enmarca en un enfoque aplicado, de tipo experimental. Se desarrolló en cuatro fases principales: diagnóstico del contexto, diseño conceptual y detallado, construcción del prototipo, y pruebas experimentales preliminares.

Fase 1. Diagnóstico del contexto y requerimientos

En primer término, se realizó un diagnóstico del sistema actual de abastecimiento de agua en el Instituto Tecnológico Superior de Perote, identificando puntos de consumo, alturas geométricas de bombeo y el uso del agua. Se consideró el promedio de los vehículos que entran al estacionamiento del Instituto Tecnológico superior de Perote (ITSPe) que es de 70 vehículos al día. Del estudio realizado de los diferentes depósitos de agua distribuidos en las Instalaciones del ITSPe, se determinó utilizar en las primeras pruebas, un baño que se encuentra a 20 m del paso de vehículos al estacionamiento (Figura 1)

Figura 1. Depósitos de agua de los baños ubicados a 20 metros del paso de vehículos al interior del estacionamiento.



Fase 2.

Revisión de tecnologías de bombeo y aprovechamiento de energía

Se llevó a cabo una revisión de literatura sobre tecnologías de bombeo mecánico de bajo costo, incluyendo treadle pumps, bombas de ariete y soluciones híbridas. Se tomaron como referencias centrales los trabajos de Mangisoni (2008), Bhat et al. (2020), Pereira et al. (2006), Santaefemia et al. (2014), Genda (2023) y estudios de evaluación y optimización de bombas de ariete (Othman et al., 2020; Rahman, 2025).

Asimismo, se revisaron propuestas de aprovechamiento de energía vehicular mediante topes mecánicos o hidráulicos.

Esta revisión permitió identificar principios de diseño relevantes: uso eficiente de la energía mecánica humana en las bombas de pedal, criterios ergonómicos, geometría óptima de componentes, uso de cámaras de aire en bombas de ariete, y estrategias para minimizar pérdidas de energía en mecanismos de impacto.

Fase 3.

Diseño y detallado del sistema tope-bomba

Con los lineamientos anteriores, se desarrolló el diseño utilizando un software comercial CAD de un sistema compuesto por:

- Un tope hidráulico móvil que se acciona al paso de un vehículo.
- Un sistema de transmisión mecánica que convierte el desplazamiento vertical del tope en movimiento lineal de un émbolo.
- Un cilindro hidráulico de bombeo, con válvulas de retención en la succión y descarga (Figura 2).
- Un resorte o mecanismo de retorno que restituyen el tope a su posición inicial (Figura 3).
- Tubería de impulsión que conduce el agua al depósito.

Figura 2. Diseño del cilindro hidráulico del Sistema tope-bomba.

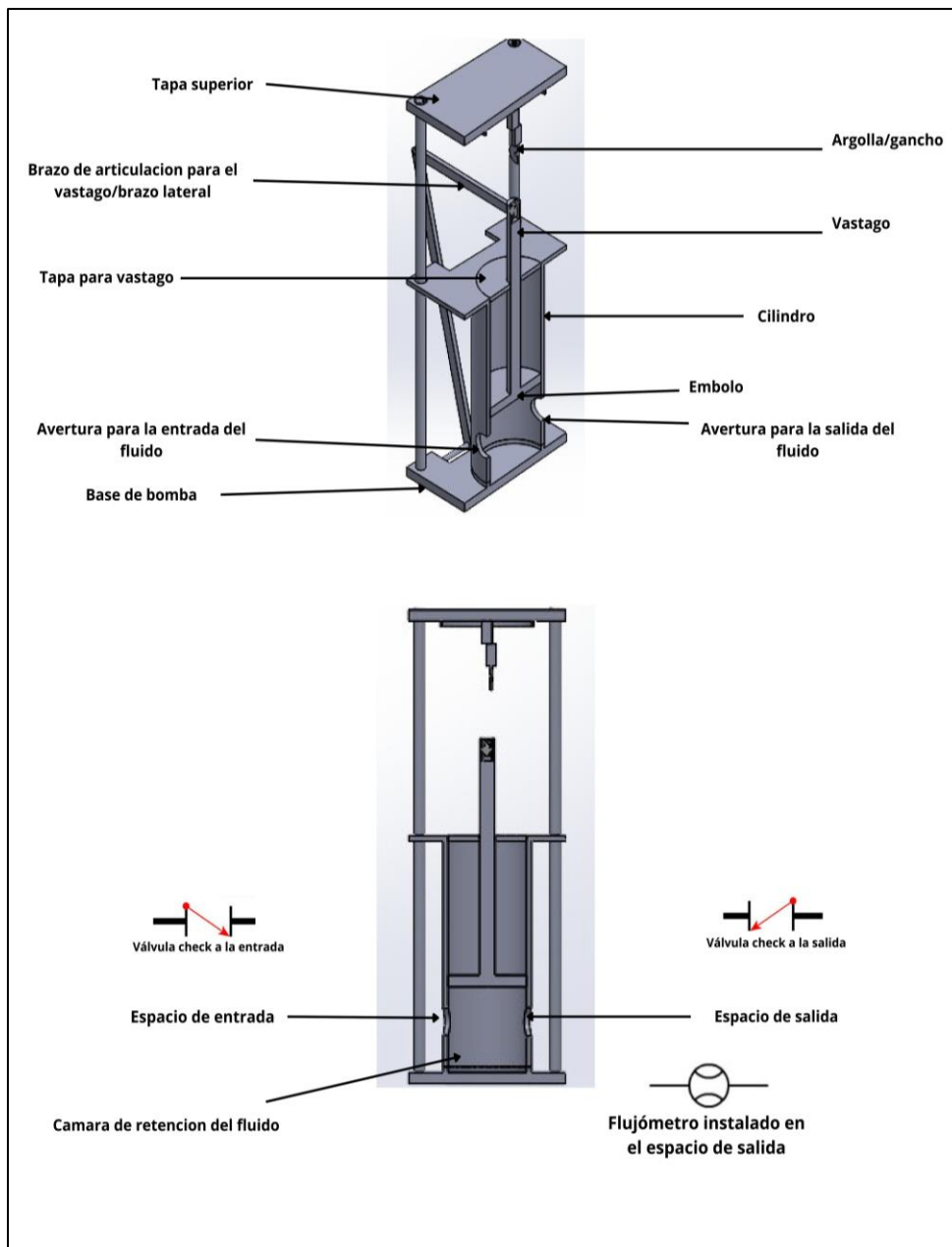
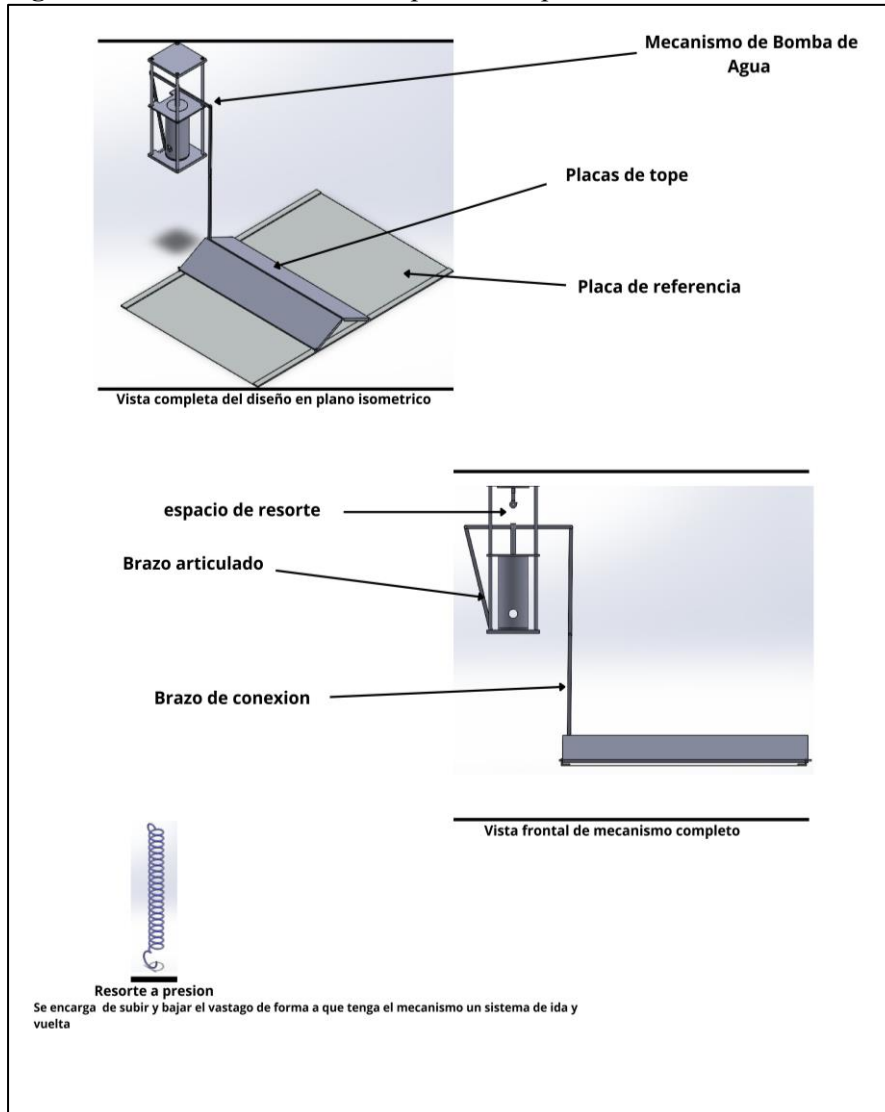


Figura 3. Diseño del Sistema completo del tope-bomba.



Se efectuaron cálculos de dimensionamiento del cilindro de bombeo, considerando el peso promedio de los vehículos que transitan por el acceso, el área del tope, la carrera del émbolo y la altura de elevación. Estos cálculos se basaron en el equilibrio de energía mecánica, la ecuación de Bernoulli y pérdidas por fricción aproximadas. Se tomó como referencia la capacidad de succión y descarga de bombas de pedal y bombas de ariete de escala similar.

Para esto, se calculó el volumen que puede contener el cilindro (Figura 4) con ayuda de la Ecuación 1. Se consideró un 20% de pérdida por el tiempo de cierre de la válvula en el que retorna agua al cilindro.

Figura 4. Medidas del cilindro de bombeo del Sistema tope-bomba.



$$V = \frac{\pi * d^2 * h}{4} = \frac{(3.1416)(18.75)^2(12)}{4} = \frac{13,253.625}{4} = 3313.40 \text{ cm}^3 \quad \text{Ecuación 1}$$

Bombeo efectivo= 2.75 litros x 70 vehiculos x dos ejes que hacen presión =385 litros bombeados al día.

Fase 4. Construcción del prototipo y pruebas experimentales

Se construyó un prototipo a escala representativa que incluye el tope, el mecanismo de transmisión y el cilindro de bombeo. Los materiales fueron seleccionados considerando disponibilidad local, costo y resistencia mecánica. El montaje se realizó sobre una estructura metálica que simula el pavimento del acceso vehicular.

Para las pruebas preliminares se diseñó un arreglo experimental con:

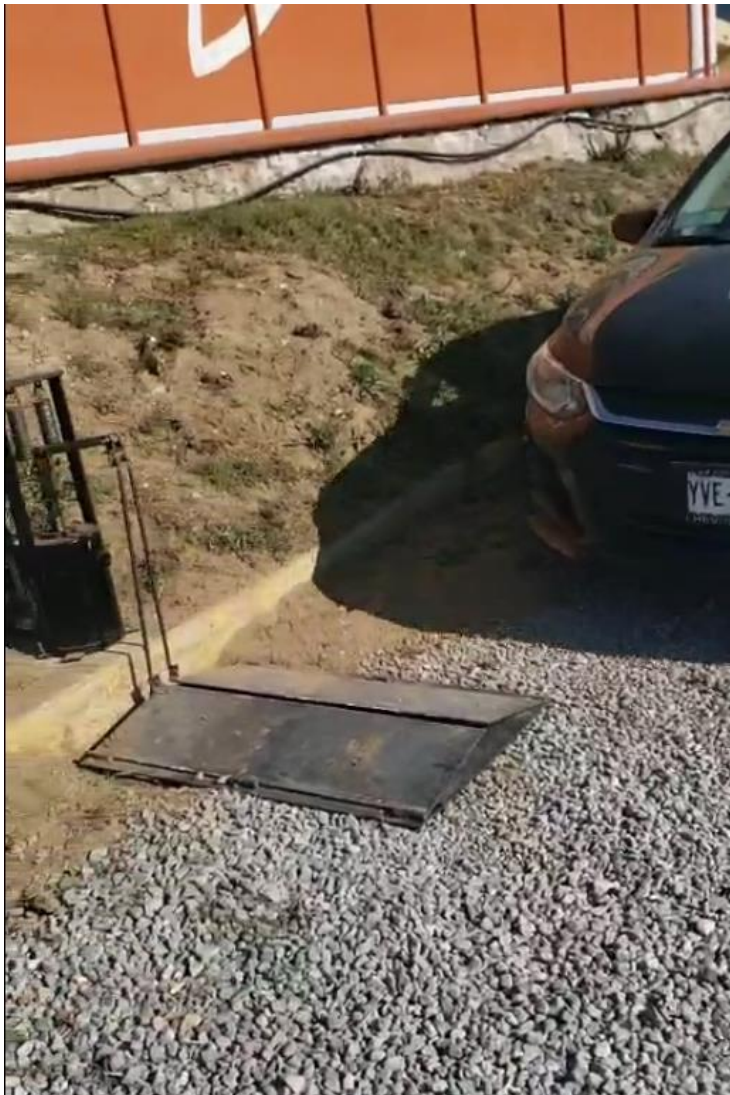
- Depósito inferior de alimentación (Figura 5).
- Prototipo tope-bomba instalado en el piso.
- Línea de descarga hacia un pequeño tanque elevado de prueba.
- Instrumentos básicos: manómetro y un depósito de agua.

Figura 5. Cilindro de bombe del Sistema del tope-bomba.



Las pruebas consistieron en hacer pasar un vehículo ligero (o un equivalente mecánico de carga controlada) sobre el tope, registrando un promedio de 400 litros de agua bombeado por día. Se realizaron pruebas durante dos para los distintos vehículos y velocidades de paso (figura 6)

Figura 6. Pruebas del Sistema de tope-bomba para los diferentes vehículos.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados indican que el sistema tope-bomba comparte varias ventajas de las bombas de pedales como la ausencia de consumo eléctrico durante la operación, simplicidad mecánica relativa y potencial de fabricación local. Sin embargo, evita la fatiga asociada al trabajo humano repetitivo, ya que la energía es aportada por los vehículos. Estudios como los de Pereira et al. (2006) y McComb et al. (2016) muestran que el diseño geométrico y ergonómico de las bombas de pedal es crucial para alcanzar un buen desempeño y minimizar la fatiga, y el uso de resortes para regresar el embolo a su posición original es efectivo.

En el caso del tope, la ergonomía se traduce en criterios de confort para los usuarios de la vialidad (evitar golpes bruscos, alturas excesivas, ruidos etc.), que deben equilibrarse con la necesidad de generar suficiente desplazamiento para el bombeo.

Lo anterior se ve reflejado en el Sistema de tope-bomba, el cual gracias a su sistema de resortes, es capaz de regresar a su posición original inmediatamente después de que el vehículo ha dejado de presionar el tope, sin generar un ruido excesivo.

Los resultados del prototipo también guardan relación con los estudios sobre bombas de ariete hidráulico, donde variables como la altura de la válvula de descarga y la configuración de la cámara de aire influyen fuertemente en la eficiencia (Othman et al., 2020; Rahman, 2025). En el sistema tope-bomba, aunque el principio no es exactamente el mismo, se observa que la sincronización del cierre de válvulas y la rigidez del mecanismo de retorno son determinantes para evitar golpes excesivos, pérdidas de energía o fallos de cebado, sin embargo, debido al tiempo en el que el resorte regresa la válvula a su lugar, parte del agua bombeada regresa al cilindro de bombeo.

Una optimización conceptual inspirada en Santaefemia et al. (2014) y McComb et al. (2016) sugiere que el sistema podría mejorarse mediante el ajuste de la carrera del émbolo, la relación de transmisión entre tope y cilindro, la selección de resortes con características adecuadas y el uso de cámaras de compensación de presión. Estos ajustes, combinados con análisis numéricos y simulaciones, permitirían acercar el desempeño del prototipo a soluciones más robustas y eficientes.

Limitaciones observadas

Entre las principales limitaciones detectadas se encuentran:

- Pérdidas del agua bombeada por el sistema mecánico.
- Necesidad de mayor instrumentación para cuantificar con precisión caudal, presión y energía aprovechada.

No obstante, durante las pruebas el prototipo confirma que la idea de aprovechar la energía cinética vehicular para el bombeo de agua es técnicamente viable y permite mejorar el sistema utilizando al prototipo como base.



CONCLUSIONES

El desarrollo del prototipo de tope hidráulico como sistema de bombeo mecánico demuestra que es posible convertir la energía cinética de los vehículos que circulan por un acceso en energía hidráulica útil para el bombeo de agua hacia un depósito elevado. La integración de principios de diseño derivados de la bomba de pedal y bombas de ariete permite configurar un dispositivo que opera sin consumo eléctrico directo y que puede fabricarse con materiales disponibles localmente como es el caso del presente trabajo.

Los antecedentes revisados evidencian que las tecnologías de bombeo mecánico de bajo costo tienen impactos significativos en la mejora del acceso al agua y en la reducción del uso de energía eléctrica cuando se aplican a comunidades rurales (Mangisoni, 2008; Hussain y Hanjra, 2004). Del mismo modo, las bombas de ariete se han consolidado como soluciones de energía limpia para elevación de agua, siempre que su diseño sea optimizado e integrado adecuadamente al entorno (Othman et al., 2020; Rahman, 2025). El sistema tope-bomba podría considerarse como una alternativa complementaria en esta familia de tecnologías, orientada a contextos institucionales y urbanos con flujo vehicular recurrente.

En síntesis, el trabajo presentado contribuye a la línea de investigación sobre tecnologías apropiadas de bombeo de agua, proponiendo una solución innovadora que aprovecha una fuente de energía constante poco explotada: el paso de vehículos sobre topes, y este tipo de sistemas permiten adaptaciones y mejoras utilizando la misma base.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Bhat, S., Saha, S. K., y Gupta, V. (2020). Study and analysis of treadle pumps. *ISME Journal of Mechanics and Design*, 4(2), 27–35.
<https://ismej.iitd.ac.in/mechanicsanddesign/files/publish/published-pdf-3-6-Paper3.pdf>
- Chakraborty, S., y Rahman, M. (2019). Energy harvesting from speed breakers for sustainable power generation. *Journal of Renewable Energy Systems*, 8(1), 45–53.
- Drechsel, P., Scott, C. A., Raschid-Sally, L., Redwood, M., y Bahri, A. (2006). *Wastewater use in irrigated agriculture: Confronting the livelihood and environmental realities*. International Water Management Institute.



https://cgspace.cgiar.org/search?spc.page=1&spc.sf=dcterms.issued&spc.sd=DESC&spc.rpp=10&view=list&scope=e9af9bd8-aca9-4efa-8bd8-1edb5fe1ac4c&query=%22Wastewater_Use_in_Irrigated_Agriculture%22

Genda, H. (2023). Evaluation of the performance of treadle pump powered drip irrigation systems. (BSc dissertation, Njala University, Department of Agricultural Engineering).

Hussain, I., y Hanjra, M. A. (2004). Irrigation and poverty alleviation: Review of the empirical evidence. *Irrigation and Drainage*, 53(1), 1–15.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ird.114>

International Water Management Institute (2006). Agricultural Water Management Technologies for Small Scale Farmers in Southern Africa: An Inventory and Assessment of Experiences, Good Practices and Costs. *International Water Management Institute (IWMI)*.
https://sarprn.org/documents/d0002066/SADC_Micro-AWM_Report_Apr2006.pdf

Mangisoni, J. H. (2008). Impact of treadle pump irrigation technology on smallholder poverty and food security in Malawi: A case study of Blantyre and Mchinji districts. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 6(4), 248–266.
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3763/ijas.2008.0306>

McComb, C., Johnson, N. G., Santaefemia, P. S., y Shimada, K. (2016). Scenario-based robustness analysis of optimized treadle pumps. *Proceedings of the ASME International Design Engineering Technical Conferences*. <https://asmedigitalcollection.asme.org/IDETC-CIE/proceedings-abstract/IDETC-CIE2016/50145/V004T05A026/258541>

Merrey, D. J., y Sally, H. (2008). Micro-agricultural water management technologies for food security in southern Africa: Part of the solution or a red herring? *Water Policy* 10 (5), 515–530.
<https://cgspace.cgiar.org/items/63bd21ad-c781-4841-8fd8-c5ef0181432e>

Olayemi, T., y Adewale, R. (2022). Design of vehicular speed-bump energy harvesters for power generation. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 13(2), 55–64.

Othman, M., Maidian, A., y Othman, N. (2020). Hydraulic ram pump: A practical solution for green energy. In *Sustainable Development of Water and Environment (pp.171-176)*



https://www.researchgate.net/publication/342146991_Hydraulic_Ram_Pump_A_Practical_Solution_for_Green_Energy

Pereira, C., Malca, J., Gaspar, M. C., y Ventura, F. (2006). Human motion analysis in treadle pump devices. In T. Clemmensen et al. (Eds.), *Human Work Interaction Design: Designing for Human Work* (IFIP, Vol. 221, pp. 135–145). https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-0-387-36792-7_8

Rahman, M. (2025). Optimizing hydraulic ram pump performance: Experimental insights on waste valve height and uncertainty analysis. *Indian Journal of Science and Technology*, 18(18), 1377–1396.

https://www.researchgate.net/publication/391924921_Optimizing_Hydraulic_Ram_Pump_Performance_Experimental_Insights_on_Waste_Valve_Height_and_Uncertainty_Analysis

Santaeufemia, P. S., Johnson, N. G., McComb, C., y Shimada, K. (2014). Improving irrigation in remote areas: Multi-objective optimization of a treadle pump. In *Proceedings of the ASME 2014 International Design Engineering Technical Conferences*. https://www.researchgate.net/publication/275522521_Improving_Irrigation_in_Remote_Areas_Multi-Objective_Optimization_of_a_Treadle_Pump

