

Sección **ESPECIAL**



Modernización de centrales hidroeléctricas y almacenamiento por bombeo: estrategias para fortalecer la estabilidad y la resiliencia de los sistemas eléctricos en la transición energética

Modernization of hydroelectric power plants and pumped-storage hydropower to strengthen stability and resilience of the electric grid in energy transition

CARLOS ALBERTO SGRO¹ - CARLOS EDUARDO JARA AMPUDIA²

1. Ingeniero Civil - Universidad Católica Andres Bello de Caracas, Venezuela
Especialización en Gerencia de la Construcción en la Universidad Metropolitana de Caracas, Venezuela
Organización de Grandes Obras, Construcción de Ferrocarriles, Carreteras y Aeropuertos; Universidad degli Studi di Firenze Italia. Programa de Organización Industrial y Ambiental. AOTS Osaka Japón
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-9927-6191>
carlos.sgro@andritz.com
2. Ingeniero Industrial - Universidad Católica de Colombia. Master Business Administration (MBA) - Bellevue University - NE, USA. Certificaciones: PMP y SCRUM MASTER
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5723-0224>
carlos.jara@andritz.com

Recibido: 12/04/2026 Aceptado: 08/05/2026

Disponible en http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista
<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

Resumen

La transición energética mundial exige sistemas eléctricos cada vez más flexibles, resilientes y capaces de integrar altos niveles de generación renovable variable. En este contexto, la energía hidroeléctrica continúa desempeñando un papel estratégico como tecnología de respaldo para garantizar la estabilidad de la red eléctrica. En América Latina, donde más del 50 % de las centrales hidroeléctricas han superado su vida útil de diseño, la modernización de los activos existentes representa una oportunidad de mejora técnica, económica y ambiental para incrementar la confiabilidad del sistema, sin requerir grandes desarrollos de infraestructura.

En este artículo se analizan el papel de la modernización hidroeléctrica (*repowering*), la rehabilitación de centrales existentes y el almacenamiento por bombeo (*pumped storage hydropower*, PSH) como soluciones fundamentales para fortalecer la seguridad energética, aumentar la eficiencia operacional y facilitar la integración masiva de energías renovables.

Así mismo, se exponen experiencias internacionales desarrolladas por Andritz Hydro y se analizan las perspectivas para América Latina y el Caribe dentro del nuevo escenario energético mundial.

Palabras claves: hidroelectricidad, almacenamiento por bombeo, energías renovables, *repowering*, flexibilidad Energética.

Abstract

The global energy transition requires power systems that are increasingly flexible, resilient, and capable of integrating high levels of variable renewable generation. In this context, hydropower continues to play a strategic role as a backup technology to ensure the stability of the power grid. In Latin America, where more than 50% of hydropower plants have exceeded their design life, the modernization of existing assets represents a technical, economic, and environmental opportunity to increase system reliability without requiring major infrastructure developments.

This article provides an overview of the role of hydropower repowering, the rehabilitation of existing plants, and pumped-storage hydropower (PSH) as key solutions for strengthening energy security, increasing operational efficiency, and facilitating the large-scale integration of renewable energy. It also highlights international projects carried out by Andritz Hydro and analyzes the prospects for Latin America within the new global energy landscape.

Keywords: hydropower, pumped-storage, renewable energy, repowering, energy flexibility.

INTRODUCCIÓN

La transformación del sector energético está impulsada por la creciente incorporación de fuentes renovables, como las energías solar y eólica. Aunque estas tecnologías reducen significativamente las emisiones de carbono, su naturaleza intermitente plantea nuevos desafíos para la estabilidad y confiabilidad de los sistemas eléctricos.

En este escenario, la energía hidroeléctrica evoluciona de ser únicamente una fuente de generación a convertirse en el principal elemento de flexibilidad de la red eléctrica. Su capacidad de respuesta rápida, regulación de frecuencia, almacenamiento energético y soporte de potencia convierte a las centrales hidroeléctricas modernas en un componente indispensable para garantizar un suministro continuo de energía.

América Latina y el Caribe en su conjunto enfrenta un desafío adicional: gran parte de su infraestructura hidroeléctrica se construyó hace ya varias décadas y actualmente presenta signos de envejecimiento. En varios estudios se indica que más del 50 % de las centrales de la región requieren procesos de rehabilitación o modernización para mantener su competitividad y confiabilidad operativa.

En este contexto, Andritz Hydro promueve soluciones integrales, orientadas a extender la vida útil de los activos hidroeléctricos, incrementar su eficiencia y desarrollar tecnologías de almacenamiento energético que permitan afrontar con éxito los desafíos de la transición energética.

REVISIÓN DE LA BIBLIOGRAFÍA (ESTADO DEL ARTE)

La Agencia Internacional de Energía (IEA), la Asociación Internacional de Hidroelectricidad (IHA), el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y la Organización Latinoamericana de Energía (Olade) coinciden en que la energía hidroeléctrica continuará siendo el principal soporte para la estabilidad de los sistemas eléctricos durante las próximas décadas.

En investigaciones recientes se demuestra lo siguiente:

- Más de 60 GW de capacidad hidroeléctrica en América Latina y el Caribe requieren inversiones de modernización.
- Retrasar estos procesos podría duplicar los costos de rehabilitación durante la próxima década.

- La modernización permite extender la vida útil de una central entre 25 y 30 años.
- Las mejoras hidráulicas pueden recuperar entre un 5 % y un 15 % de la capacidad perdida.
- Los proyectos de rehabilitación presentan retornos de inversión a plazos que oscilan entre tres y siete años, dependiendo del alcance tecnológico.

En forma paralela, el almacenamiento por bombeo (PSH) se consolida como la tecnología de almacenamiento energético de mayor capacidad instalada en el mundo, gracias a su elevada eficiencia, larga vida útil y capacidad para proporcionar servicios auxiliares a la red.

Varios organismos internacionales proyectan que el cumplimiento de los objetivos globales de energías renovables para 2030 será prácticamente imposible sin un crecimiento acelerado del almacenamiento hidroeléctrico por bombeo.

METODOLOGÍA

El presente artículo corresponde a una investigación documental de carácter descriptivo y técnico. La información se recopiló a partir de la presentación técnica desarrollada por especialistas de Andritz Hydro durante el encuentro denominado “Sostenibilidad, innovación e hidroelectricidad”, celebrado en Ecuador, complementada con las referencias técnicas citadas en dicha presentación, provenientes del BID, IEA, IHA, Olade y experiencias internacionales de proyectos hidroeléctricos.

Posteriormente, se hizo un análisis comparativo entre las tecnologías de modernización hidroeléctrica, repotenciación y almacenamiento por bombeo, evaluando aspectos relacionados con confiabilidad operativa, disponibilidad, eficiencia energética, beneficios económicos, impacto ambiental y contribución a la estabilidad del sistema eléctrico.

Finalmente, se consolidaron las principales tendencias tecnológicas y estratégicas para el contexto latinoamericano.

DISCUSIÓN Y RESULTADOS

La modernización de centrales hidroeléctricas se puede ver como un ancla para la red eléctrica, porque estas respaldan la variabilidad de las energías intermitentes, como

la eólica y la solar durante los horarios del día, brindando estabilidad y confiabilidad al sistema eléctrico. Algunos de sus beneficios técnicos y económicos son:

Beneficios técnicos

- Mayor confiabilidad al reducir el número de paradas no programadas, mayor flexibilidad operativa y adaptación a nuevas condiciones de caudal o demanda, y optimización de la eficiencia hidráulica mediante la modificación del perfil hidráulico del rodete y otros componentes del sistema de regulación.

Beneficios económicos

- La inversión en infraestructura civil es mínima comparada con el desarrollo de nuevas centrales, al poder aprovechar la infraestructura existente.
- El tiempo de montaje se reduce considerablemente al requerir cambiarse solo algunos componentes del sistema de generación y poder integrarlos a los equipos actuales, siempre que cuenten con la capacidad requerida.
- Poca interferencia con los elementos naturales al aprovechar la infraestructura existente.

La experiencia internacional presentada por Andritz demuestra resultados altamente positivos en proyectos desarrollados en Colombia, Chile, Venezuela, México, Camerún, Francia, Filipinas y Australia, donde las intervenciones permitieron extender la vida útil de las instalaciones hasta por 50 años e incrementar la capacidad instalada mediante mejoras tecnológicas.

Especial relevancia adquiere el caso colombiano del proyecto hidroeléctrico del Guavio, donde la moder-

nización permitió aumentar la potencia máxima por unidad de 250 MW a 270 MW, además de mejorar la eficiencia de generación cercana al 92 %, constituyéndose en un referente regional de repotenciación hidroeléctrica. En total, se adicionaron 100 MW en esta central.

Por otra parte, el almacenamiento por bombeo emerge como la solución tecnológica más sólida para responder a la creciente penetración de energías renovables variables. Así lo ha reconocido el Ministerio de Minas y Energía al incluir este almacenamiento en el catálogo tecnológico colombiano.

Comparado con tecnologías basadas en baterías, el PSH ofrece:

- Mayor capacidad de almacenamiento.
- Vida útil superior a 80 años.
- Menores costos de operación durante su ciclo de vida.
- Alta eficiencia energética.
- Aporte de inercia mecánica para estabilización de la red.
- Servicios auxiliares indispensables para la operación de sistemas eléctricos modernos.

Estas características posicionan el almacenamiento por bombeo como un componente esencial para los sistemas energéticos del futuro.

Andritz Hydro ha desarrollado más de 300 unidades de almacenamiento por bombeo en varias partes del mundo, acumulando cerca de 30.000 MW instalados y más de nueve décadas de experiencia en esta tecnología, consolidándose como uno de los principales referentes internacionales del sector.



Figura 1.
Repotenciación hecha por Andritz. Central hidroeléctrica del Guavio, 2025.

CONCLUSIONES

La transición energética requiere mucho más que incrementar la capacidad instalada de generación renovable; demanda sistemas eléctricos capaces de operar con altos niveles de flexibilidad, estabilidad y confiabilidad.

La modernización de las centrales hidroeléctricas constituye una estrategia altamente rentable para extender la vida útil de los activos existentes, incrementar su eficiencia y fortalecer la seguridad energética de América Latina y el Caribe.

La topografía andina y sus recursos hídricos hacen de Colombia en particular y de América Latina en general unos escenarios potenciales para la implementación de estas tecnologías.

De igual manera, el almacenamiento por bombeo representa actualmente la tecnología de almacenamiento de gran escala con mayor madurez tecnológica y mejores perspectivas para respaldar la integración masiva de energías renovables.

Las soluciones desarrolladas por Andritz Hydro demuestran que la innovación tecnológica, combinada con la experiencia en ingeniería hidroeléctrica, constituye un elemento fundamental para acelerar la descarbonización de los sistemas eléctricos, sin comprometer su estabilidad.

La evolución hacia sistemas híbridos que integren energía hidroeléctrica, solar, eólica y almacenamiento por bombeo será uno de los principales ejes de desarrollo energético durante las próximas décadas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito por la divulgación de conocimiento técnico y la promoción de espacios académicos orientados al fortalecimiento de la ingeniería hidroeléctrica. Así mismo, se reconoce el aporte de las instituciones organizadoras por fomentar el intercambio de experiencias y mejores prácticas para el desarrollo sostenible del sector energético.

REFERENCIAS

- Banco Interamericano de Desarrollo (s.f.). *El rol histórico de la hidroelectricidad en América Latina y el Caribe y sus desafíos claves*. BID.
- International Energy Agency (2024). *Renewables 2023 – Analysis and Forecast to 2028*. IEA.
- International Hydropower Association (2025). *Hydropower Outlook 2025*. IHA.
- Jara, C. (2026). *Energía estable en un mundo cambiante: la hidroeléctrica como ancla de la red* [conferencia]. Encuentro "Sostenibilidad, innovación e hidroelectricidad". Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador.
- Ministerio de Minas y Energía (2025). *Catálogo Tecnológico Colombiano. Tecnologías de generación y almacenamiento de energía*. UPME.
- Nogueira, M., y Alarcón, A. (2019). *Impacto de las paradas en la generación hidroeléctrica de Brasil*. BID.
- Organización Latinoamericana de Energía (2025). *Almacenamiento por bombeo en América Latina*. Olade.