



Scan to know paper details and
author's profile

Refurbishment and Conversion to Pumped/Storage Systems of Hydroelectric Power Plants in Córdoba (Argentina)

*Santiago María Reyna, Agustina Bonini, Paula Lorena Bonillo,
Eduardo Alberto Antonio Melano, Teresa María Reyna, Fabián Andrés Fulginiti
& María Lábaque*

Universidad Nacional de Córdoba (UNC)

ABSTRACT

This research presents a comprehensive methodology for the technical and environmental assessment of the refurbishment and modernization of existing hydroelectric plants in the province of Córdoba (Argentina) to use pumped storage hydropower (PSH) systems. The study is based on leveraging existing civil infrastructure, with the goal of minimizing environmental impacts, optimizing economic resources, and improving provincial energy management.

The proposed methodology combines technical, hydrological, environmental, and water resource management criteria to prioritize sites with high conversion feasibility. Of the total number of plants analyzed, four were identified as having favorable conditions: Fitz Simon, Cassaffousth, Los Molinos I, and La Viña. Field campaigns and specific analyses were subsequently conducted to assess the technical and operational feasibility of their refurbishment and modernization. The results show that the selected plants have high potential to operate with pumped storage energy storage schemes, contributing to the integration of intermittent renewable energy and strengthening the provincial electricity grid.

Keywords: hydroelectric power, pumped storage, hydropower station modernisation, energy storage, infrastructure refurbishment.

Classification: LCC Code: TK1001

Language: English



Great Britain
Journals Press

LJP Copyright ID: 392942

Print ISSN: 2631-8474

Online ISSN: 2631-8482

London Journal of Engineering Research

Volume 25 | Issue 4 | Compilation 1.0



Refurbishment and Conversion to Pumped/Storage Systems of Hydroelectric Power Plants in Córdoba (Argentina)

Rehabilitación y Conversión de Centrales Hidroeléctricas Existentes en Córdoba (Argentina) a Sistemas de Turbinado-Bombeo

Santiago María Reyna^a, Agustina Bonini^o, Paula Lorena Bonillo^p,
Eduardo Alberto Antonio Melano^{co}, Teresa María Reyna[✱], Fabián Andrés Fulginiti[§]
& María Lábaque^x

RESUMEN

Esta investigación presenta una metodología integral para la evaluación técnica y ambiental de la refuncionalización y modernización de centrales hidroeléctricas existentes en la provincia de Córdoba (Argentina) hacia sistemas de bombeo reversible (Pumped Storage Hydropower, PSH). El estudio parte del aprovechamiento de la infraestructura civil ya instalada, con el objetivo de minimizar impactos ambientales, optimizar recursos económicos y mejorar la gestión energética provincial.

La metodología propuesta combina criterios técnicos, hidrológicos, ambientales y de gestión del recurso hídrico para priorizar sitios con alta factibilidad de conversión. De un total de centrales analizadas, se identificaron cuatro con condiciones favorables: Fitz Simon, Cassaffousth, Los Molinos I y La Viña. Posteriormente, se realizaron campañas de campo y análisis específicos para evaluar la viabilidad técnico-operativa de su reconversión y modernización. Los resultados evidencian que las centrales seleccionadas poseen un alto potencial para operar en esquemas de almacenamiento energético a partir de bombeo reversible, contribuyendo a la integración de energías renovables intermitentes y al fortalecimiento de la red eléctrica provincial.

El caso de la Central La Viña se presenta en detalle, dado su proceso actual de modernización, destacándose la oportunidad

técnica y económica de incorporar la función de bombeo reversible en simultáneo con la actualización de equipamiento.

Palabras clave: energía hidroeléctrica, turbinado-bombeo, modernización de centrales hidroeléctricas, almacenamiento energético, refuncionalización de infraestructura.

ABSTRACT

This research presents a comprehensive methodology for the technical and environmental assessment of the refurbishment and modernization of existing hydroelectric plants in the province of Córdoba (Argentina) to use pumped storage hydropower (PSH) systems. The study is based on leveraging existing civil infrastructure, with the goal of minimizing environmental impacts, optimizing economic resources, and improving provincial energy management.

The proposed methodology combines technical, hydrological, environmental, and water resource management criteria to prioritize sites with high conversion feasibility. Of the total number of plants analyzed, four were identified as having favorable conditions: Fitz Simon, Cassaffousth, Los Molinos I, and La Viña. Field campaigns and specific analyses were subsequently conducted to assess the technical and operational feasibility of their refurbishment and modernization. The results show that the selected plants have high potential to operate with pumped storage energy

storage schemes, contributing to the integration of intermittent renewable energy and strengthening the provincial electricity grid.

The case of the La Viña Power Plant is presented in detail, given its current modernization process, highlighting the technical and economic opportunity of incorporating the reversible pumping function simultaneously with the equipment upgrade.

Keywords: hydroelectric power, pumped storage, hydropower station modernisation, energy storage, infrastructure refurbishment.

Author α σ ρ ≠ § χ: Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (FCEfYN) - Universidad Nacional de Córdoba (UNC).

©: Empresa Provincial de Energía de Córdoba (EPEC).

para aumentar la penetración de fuentes renovables variables en los sistemas eléctricos modernos. En este contexto, el almacenamiento hidroeléctrico por bombeo reversible (*Pumped Storage Hydropower*, PSH) representa la tecnología más madura, eficiente y de mayor capacidad a nivel mundial (Simon et al., 2023).

En la provincia de Córdoba (Argentina), el sistema hidroeléctrico provincial cuenta con una serie de centrales de mediana escala construidas entre las décadas de 1940 y 1980 (ver ubicación en la Figura 1), que actualmente presentan subutilización de su capacidad instalada debido a restricciones hidrológicas, de operación y obsolescencia. Este escenario motivó el desarrollo de un proyecto de investigación orientado a evaluar la factibilidad técnica, ambiental y económica de refuncionalizar y modernizar dichas centrales hacia esquemas de turbinado-bombeo.

I. INTRODUCCIÓN

La incorporación de sistemas de almacenamiento energético es un requisito técnico indispensable

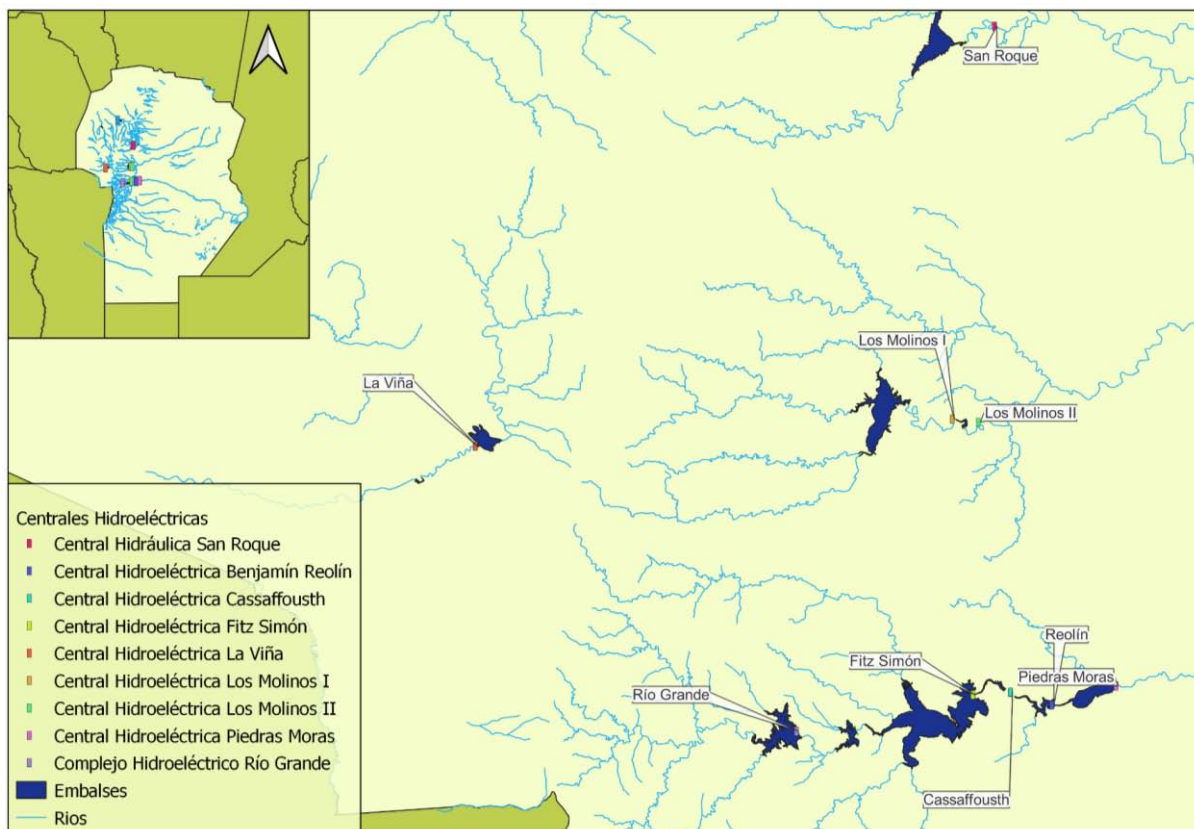


Figura 1: Embalses y centrales de la provincia de Córdoba. Fuente: Bonillo, Reyna et al., 2024

infraestructura civil disponible y minimizando nuevas intervenciones.

II. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

2.1 Criterios de Selección

La metodología de selección se estructuró en torno a siete criterios principales:

1. *Infraestructura civil preexistente:* Se priorizaron centrales con estructuras que, en general, estén en buen estado de conservación (presa, casa de máquinas, líneas de transmisión y obras de conducción), minimizando la necesidad de nuevas obras y los impactos ambientales asociados.
2. *Proximidad entre embalses:* Se consideró la existencia de embalses superior e inferior. En caso de ausencia de embalse inferior, se evaluó la factibilidad de construir un azud o dique de restitución para generar el volumen de entretenimiento necesario.
3. *Elementos de disipación de sobrepresión:* Inicialmente, se consideró relevante la existencia de una chimenea de equilibrio. Sin embargo, los resultados posteriores mostraron que basta con disponer de estructuras adecuadas de descarga o alivio de sobrepresión, por lo que la presencia de chimenea no constituye un factor excluyente.
4. *Tipo de turbina y años de operación:* Se otorgó prioridad a las centrales con turbinas tipo Francis, debido a su mayor compatibilidad con esquemas reversibles. No obstante, se verificó que los equipos instalados en la mayoría de las centrales cordobesas habían alcanzado el fin de su vida útil, por lo que la sustitución de los grupos podría resultar inevitable en escenarios de modernización.
5. *Propósito del embalse:* Si bien los embalses multipropósito pueden presentar limitaciones en su régimen operativo, se identificó que la incorporación de bombeo puede optimizar la gestión del recurso al aumentar las horas de turbinado y mejorar el aprovechamiento hídrico, dado que el volumen destinado al almacenamiento por bombeo es significativamente menor al de otros usos

prioritarios (agua potable, riego, control de crecidas).

6. *Factor de carga:* Las centrales con bajo factor de carga fueron consideradas candidatas prioritarias, dado que la incorporación de almacenamiento por bombeo permite incrementar la energía entregada y estabilizar su régimen de operación. Las plantas que operan en punta, con conducciones de mayor sección, presentan además una mejor predisposición hidráulica para incorporar el modo de bombeo.
7. *Condición estructural y accesibilidad:* Se incluyó una revisión de planos, inspección visual y evaluación del entorno para estimar la complejidad constructiva y logística de las obras requeridas.

2.2 Selección Preliminar

Aplicando los criterios anteriores, se identificaron como centrales con alta factibilidad de refuncionalización: *La Viña (Río de Los Sauces) (Figura 2 y 3)*, *Los Molinos I (Río Los Molinos) (Figura 4 y 5)*, *Fitz Simon (Sistema de Río Tercero) (Figura 6 y 7)* y *Cassaffousth (Sistema de Río Tercero) (Figura 7 y 8)*. Estas instalaciones comparten características favorables según los criterios de selección indicados en la sección anterior: infraestructura robusta, accesibilidad, redes eléctricas de media tensión cercanas y embalses operativos que se resumen en la Tabla 1. Si bien estas centrales presentan condiciones técnicamente viables para su refuncionalización, cada una posee particularidades y desafíos específicos en relación con la infraestructura existente, el régimen hidráulico y la compatibilidad con la operación reversible. En la sección “Evaluaciones específicas y estudios de campo” se presenta la información relevada y análisis sobre los tres sistemas.

Tabla 1: Parámetros técnicos y evaluación de factibilidad para la refuncionalización a turbinado-bombeo

Parámetro	Central La Viña	Central Los Molinos I	Central Fitz Simon	Central Cassaffouth
Salto neto (m)	96	254	41,1	38,8
Caudal medio disponible (m ³ /s)	5,5	7	27,6	27,6
Potencia instalada actual (MW)	16	52	10,8	15
Tipo de turbina actual	Francis de eje vertical	Francis de eje vertical	Francis de eje vertical	Francis de eje vertical
Año de instalación	1959 (Actualmente en modernización)	1957 (No ha sido objeto de modernización tecnológica sustancial)	1943 (No ha sido objeto de modernización tecnológica sustancial)	1953 (Ha tenido reparaciones recientes en el Grupo N°1 - rebobinado)
Estado de la infraestructura civil e hidráulica	Deficiente (se encuentra en tareas de reparación)	Regular (Infraestructura civil aprovechable, requiere modernización de equipos y sistemas de control).	Regular (Infraestructura civil en buenas requiere modernización de de equipos y sistemas de control).	Regular (Conducciones forzadas en buen estado, requiere modernización en sistemas de control).
Existencia de embalse inferior	La descarga inmediata es sobre un azud de restitución sin capacidad de regulación.	Dique La Quintana.	Embalse Segunda Usina Ing. Cassaffouth	Embalse Tercera Usina Ing. Benjamín Reolín.
Volumen útil del embalse superior a cota labio de vertedero (hm ³)	183 hm ³	307 hm ³	560 hm ³	560 hm ³
Presencia de estructuras para descargar sobrepresión	2 descargadores de sobrepresión por golpe de ariete.	Una chimenea de equilibrio cilíndrico de tipo diferencial.	El vástago hueco en la válvula de la obra de toma.	Una chimenea de equilibrio de tipo diferencial.
Factor de carga actual (%)	22	22	61	45

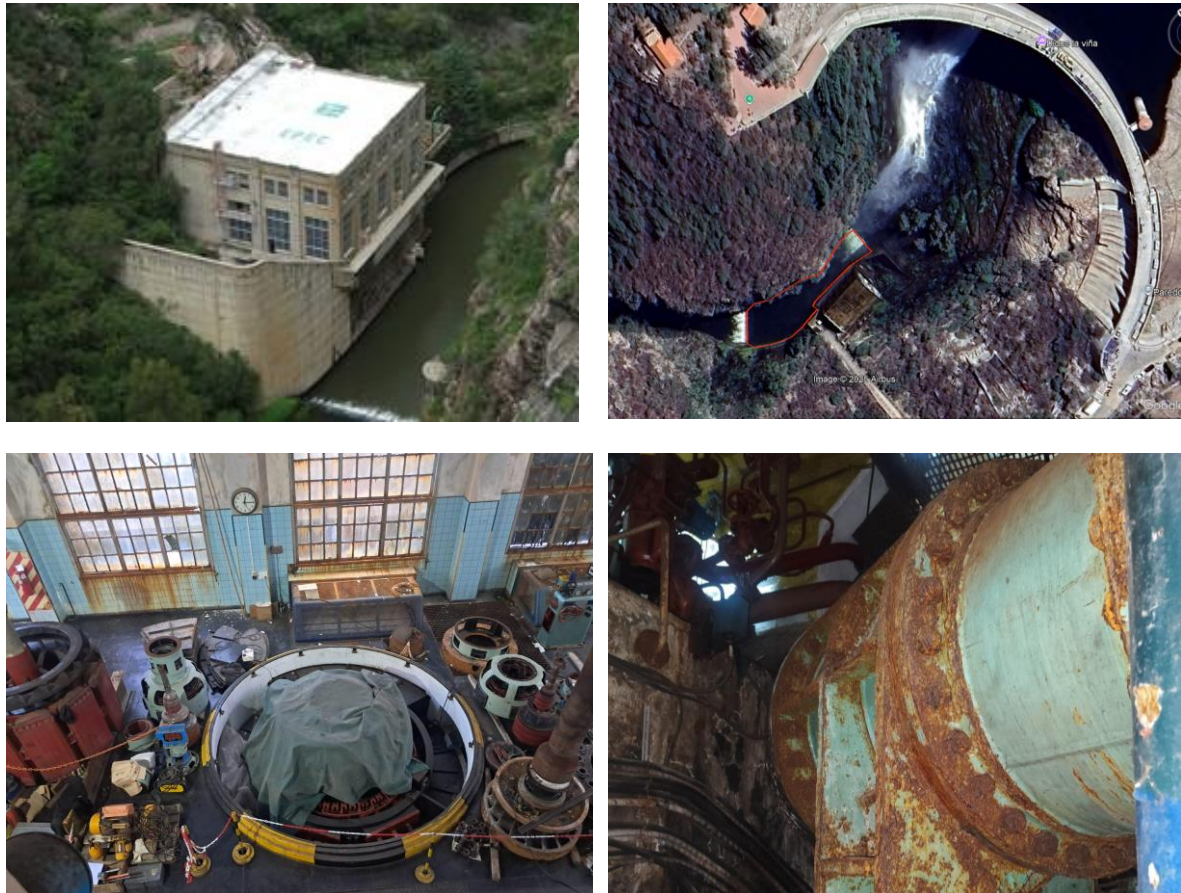


Figura 2: Central Hidroeléctrica La Viña

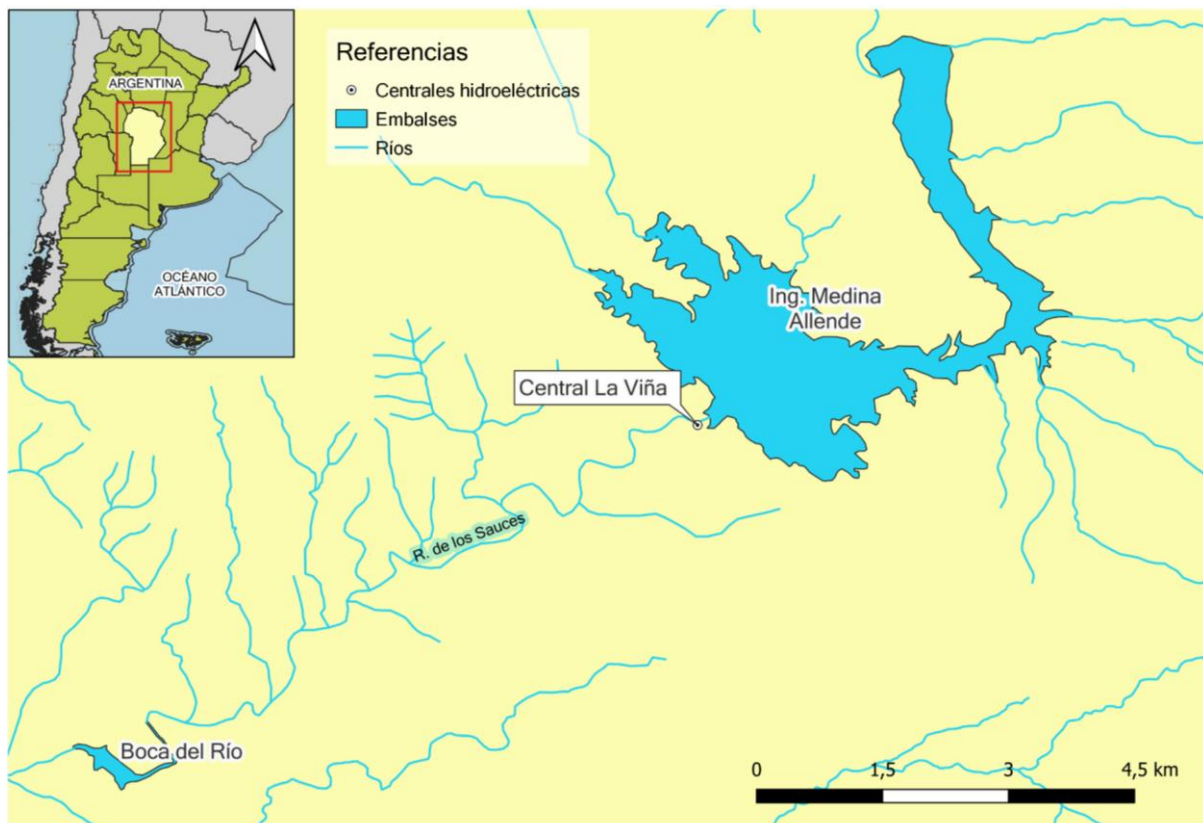


Figura 3: Ubicación geográfica del Embalse Medina Allende (Dique La Viña)



Figura 4: Central Hidroeléctrica Los Molinos I

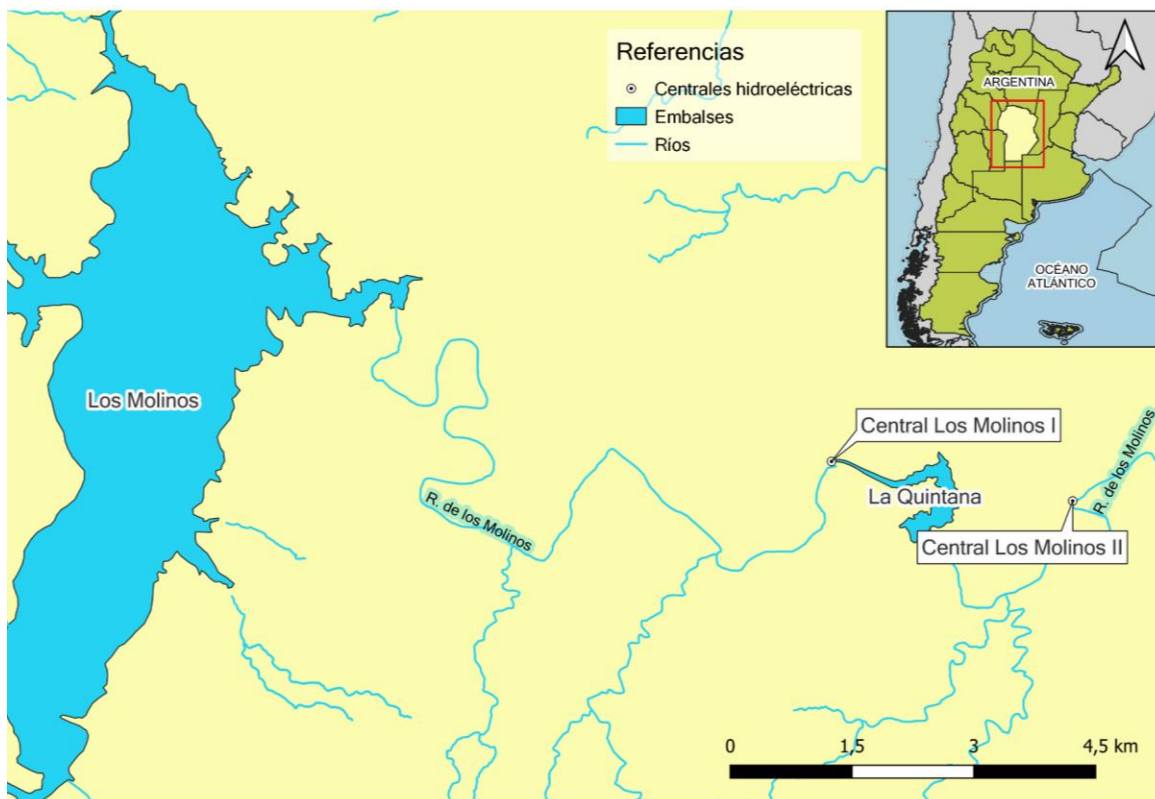


Figura 5: Ubicación geográfica del Sistema Los Molinos





Figura 6: Central Hidroeléctrica Fitz Simon



Figura 7: Ubicación geográfica del Sistema Río Tercero (en cascada: Fitz Simon, Cassaffousth y Reolín)



Figura 8: Central Hidroeléctrica Cassaffousth

III. EVALUACIONES ESPECÍFICAS Y ESTUDIOS DE CAMPO

Tras la preselección, se llevó a cabo la etapa de relevamiento y sistematización de la información disponible de las centrales (Los Molinos I, La Viña, Fitz Simon, Cassaffousth y Reolín), complementada con visitas técnicas a cada una de ellas. Esta fase permitió recopilar los datos necesarios para desarrollar las propuestas de refuncionalización y modernización. Estas alternativas contemplaron diferentes configuraciones hidráulicas y electromecánicas posibles, considerando las condiciones actuales de cada sitio, la disponibilidad de infraestructura existente y las restricciones operativas asociadas. En todos los casos se deberán actualizar los sistemas de control y automatización, sistemas de control y manejo hidráulico y verificar la

sumergencia necesaria para evitar cavitación al bombear.

3.1 Central Los Molinos I

La alternativa técnica evaluada consistió en mantener las turbinas actuales y ampliar la casa de máquinas (ver Figura 10) para construir una sala de bombeo en pozo, a fin de garantizar el NPSH (*Net Positive Suction Head*) de las bombas. Se descartó elevar el nivel del embalse inferior (Dique La Quintana) por razones estructurales: el dique que debería recrecerse es mixto, conformado por un tramo de gravedad, un tramo de escollera y un vertedero tipo Creager y se deberían aplicar técnicas diferentes en cada tramo. Además, presenta problemas operativos en sus compuertas, lo que haría mucho más costosa su intervención para aumentar su altura.

El pozo de bombeo se conectaría hidráulica y eléctricamente a la central existente para permitir el bombeo de agua desde el embalse inferior al superior a través de las tuberías forzadas y túneles

existentes (un ejemplo de un proyecto similar de refuncionalización es la central en Sloy, Escocia (SSE Renewables, 2025) que se puede ver en la Figura 11).

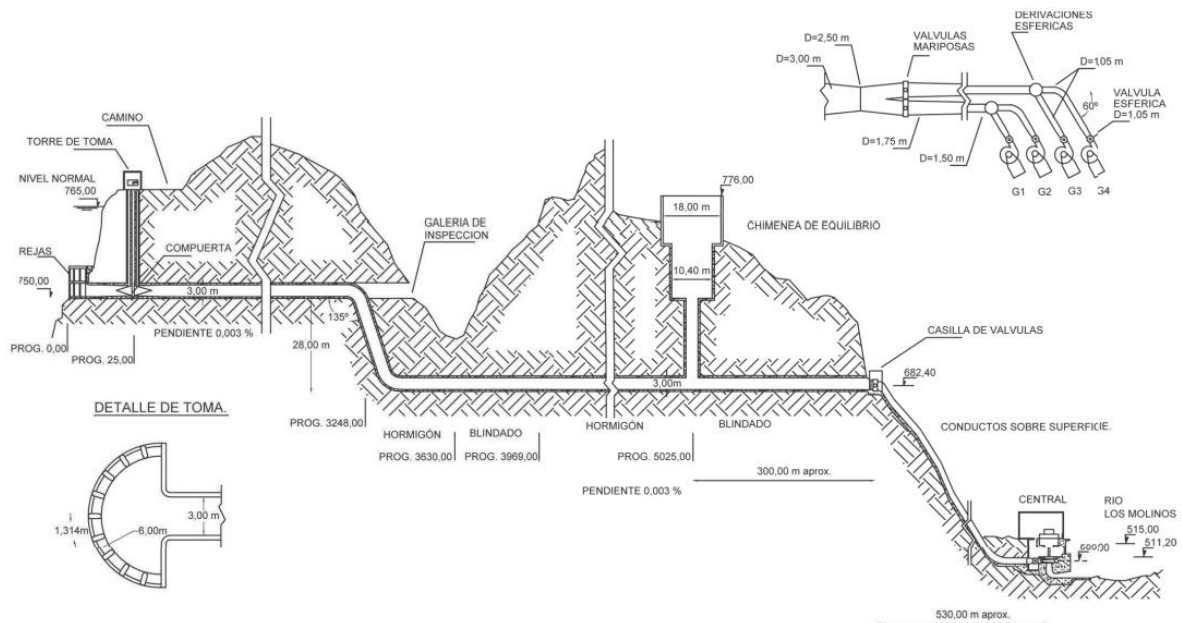


Figura 9: Esquema de turbinado actual Los Molinos I (López y Rodríguez, 2011)



Figura 10: Lugar para la ampliación de la casa de máquinas Central Los Molinos I

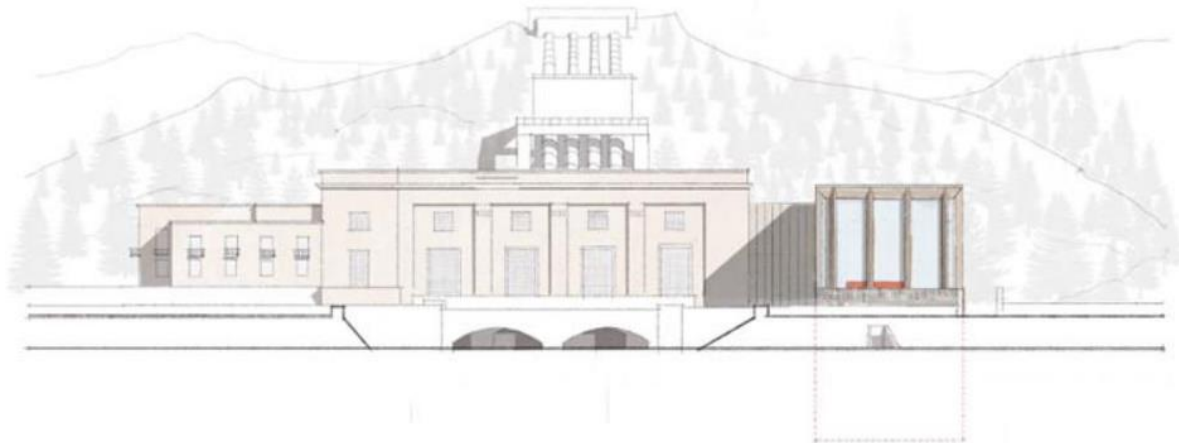


Figura 11: Esquema del proyecto de ampliación de la central de Sloy, Escocia. La casa de máquinas nueva, que albergaría las bombas, se encuentra a la derecha de la casa original

3.2 Central Fitz Simon

La propuesta consistió en construir un azud de restitución (Figura 13) y adaptar los rodetes actuales a operación reversible, manteniendo las conducciones hidráulicas existentes. Este

esquema permitiría minimizar costos y aprovechar la infraestructura en funcionamiento, incorporando un nuevo sistema de control automatizado y sincronizado con la red provincial.



Figura 12: Componentes del Sistema Hidroeléctrico Fitz Simon



Figura 13: Modificación Prevista de la Restitución de la Central Hidroeléctrica Fitz Simon

3.3 Central Cassaffousth

Al igual que en la central aguas arriba (Fitz Simon), la propuesta consistió en recrear el azud de restitución actual (Figura 15) y adaptar los 3 grupos (rodete y generador) actuales a operación reversible, manteniendo las conducciones

hidráulicas existentes. Este esquema permitiría minimizar costos y aprovechar la infraestructura en funcionamiento, incorporando un nuevo sistema de control automatizado y sincronizado con la red provincial.



Figura 14. Componentes del Sistema Hidroeléctrico Cassaffousth



Figura 15: Modificación Prevista de la Restitución de la Central Hidroeléctrica Cassaffousth

3.4 Central La Viña

La central La Viña fue seleccionada como caso piloto debido a su estado operativo, condiciones hidráulicas y proceso actual de modernización. La central en 2020 alcanzó un grado crítico de deterioro estructural y funcional con deficiencias significativas en obras de toma y conducción por lo que se recurrió a su modernización. Aun cuando, en el caso de La Viña, existe un embalse compensador aguas abajo, este no podría cumplir el rol de embalse inferior para contener el volumen de entretenimiento por encontrarse a gran distancia (más de 10 km aguas abajo). Para adaptarla a turbinado/bombeo, se planteó la construcción de un pequeño azud aguas abajo (Figura 16) para generar el volumen de entretenimiento necesario y garantizar el NPSH de las bombas en modo de aspiración. La propuesta técnica consistió en:

- Operar ambos grupos en régimen coordinado, permitiendo el bombeo en horas valle y el turbinado en horas pico, optimizando la gestión energética diaria.
- Convertir el grupo N°1 en máquina/sistema reversible, manteniendo el grupo N°2 como generador convencional de base.



Figura 16: Modificación prevista de la restitución de la central hidroeléctrica La Viña

IV. CASO LA VIÑA: DIAGNÓSTICO Y OPORTUNIDAD DE REFUNCIONALIZACIÓN

La central La Viña, ubicada sobre el río de los Sauces, posee actualmente una potencia instalada de 16 MW (dos turbinas Francis de 8 MW). Durante el proceso de modernización iniciado por la Empresa Provincial de Energía de Córdoba (EPEC), se registraron dos hallazgos críticos:

- El caudal de diseño histórico de 7 m³/s (Agua y Energía Eléctrica, 1969) resultó mayor respecto al caudal medio medido entre 1995 y 2019 de aproximadamente 5,5 m³/s (Guida y Guillén, 2019), indicando una posible reducción del recurso hídrico asociada a variabilidad climática.
- El nivel operativo del embalse se mantuvo por debajo del nivel de diseño (estando, en promedio unos 10 m bajo el labio del vertedero). Esto, debido a conflictos con regantes aguas abajo y a ineficiencias en los sistemas de riego tradicionales (por gravedad y surcos).

La primera propuesta de modernización contempló anular el grupo N°1 y reemplazar el grupo N°2 (Figura 17) por una unidad de menor

potencia (6 MW) con mayor factor de utilización (≈ 20 h/día). El presente estudio propuso una alternativa más eficiente, con un mayor aprovechamiento de la obra civil e hidráulica: instalar en el Grupo N°1 una turbina reversible, manteniendo el Grupo N°2 como generador convencional.

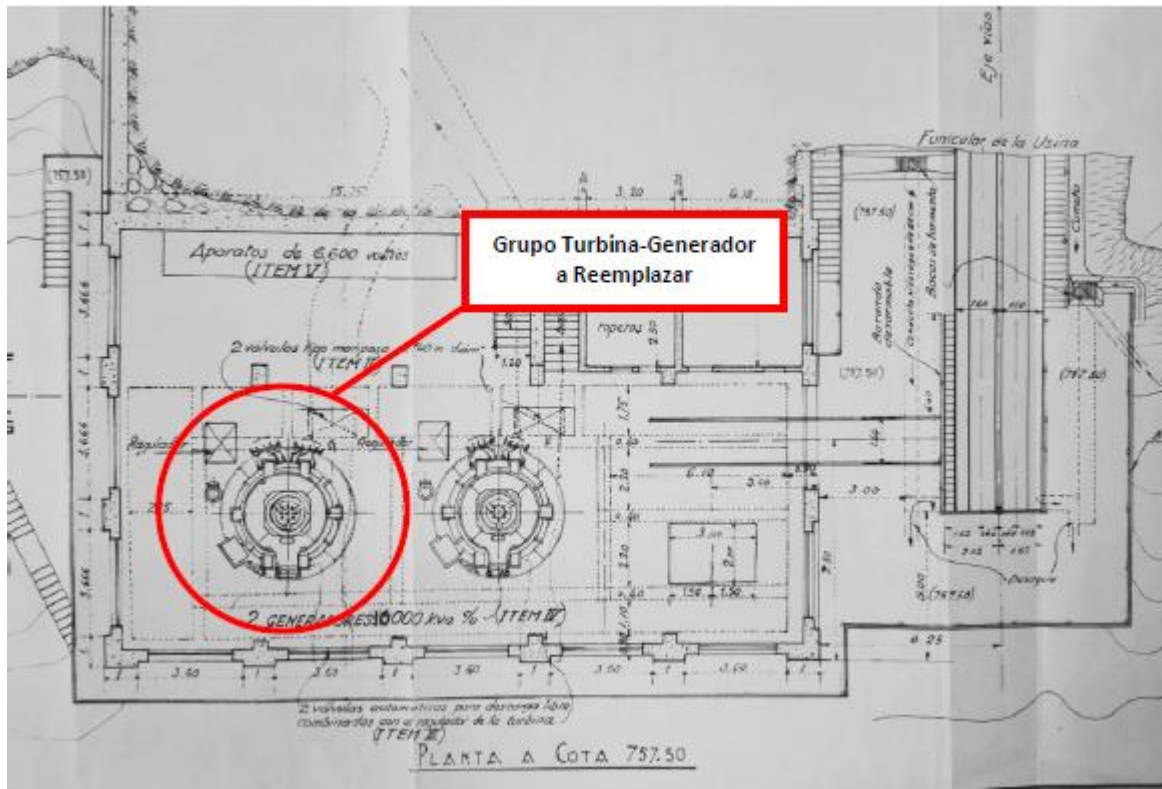


Figura 17: Plano en planta de la central La Viña (se indica el grupo turbina-generator N°2 a reemplazar por una potencia menor, de 6 MW)

Este esquema permitiría:

- Aumentar la flexibilidad operativa.
- Reducir pérdidas por vertido.
- Mejorar la integración del sistema con energías renovables variables.
- Maximizar el uso de infraestructura existente.

Adicionalmente, se planteó optimizar el riego aguas abajo mediante la implementación de sistemas presurizados o de riego por gravedad por pulsos, con el fin de recuperar el nivel del embalse de diseño y asegurar la disponibilidad de agua para el esquema de bombeo.

V. DISCUSIÓN

Lo valioso de las propuestas de refuncionalización y modernización mencionadas radica en aprovechar la inversión original realizada por la provincia en infraestructura civil (presas, túneles, tuberías forzadas, chimeneas de equilibrio, torres de toma y líneas eléctricas), que representa el mayor costo de cualquier proyecto hidroeléctrico. Aun cuando sería necesario realizar una inversión considerable para adaptar las centrales a este

nuevo esquema, el esfuerzo permitiría revalorizar obras ya existentes, incorporando capacidad de almacenamiento energético, un recurso clave en la actualidad.

El análisis evidenció que la refuncionalización de centrales existentes a turbinado/bombeo es técnica y ambientalmente viable en Córdoba, y representa una alternativa costo-efectiva para recuperarlas frente a la construcción de nuevas centrales de almacenamiento. Las ventajas principales se asocian a:

- Reutilización de infraestructura civil existente.
- Reducción de impactos ambientales y sociales que ya han sido compensados en el pasado.
- Sinergia con procesos de modernización de centrales hidroeléctricas en curso.
- Incremento de la seguridad y flexibilidad del sistema eléctrico provincial, permitiendo la penetración segura de las energías renovables.

El caso La Viña, actualmente en modernización, constituye una oportunidad inmediata para validar la tecnología a escala piloto y replicarla en otras cuencas.

VI. CONCLUSIONES

La metodología propuesta permitió identificar, con criterios técnicos y ambientales integrados, las centrales hidroeléctricas con mayor potencial de refuncionalización en Córdoba. Según estos criterios, Fitz Simon, Cassaffousth, Los Molinos I y La Viña presentan condiciones estructurales e hidráulicas favorables para su adaptación a turbinado-bombeo. Particularmente, la central La Viña, por su proceso de modernización y disponibilidad de infraestructura, constituye el caso más factible para implementación piloto.

La refuncionalización de las centrales cordobesas a sistemas reversibles puede mejorar el factor de carga, optimizar la gestión del recurso hídrico y aumentar la participación de renovables en la matriz provincial. Se recomienda avanzar hacia estudios de factibilidad técnico-económica detallados para cada sitio y promover un marco regulatorio provincial que incentive proyectos de almacenamiento hidroeléctrico.

REFERENCIAS

1. Agua y Energía Eléctrica. (1969). *Obras construidas. Proyectos y estudios realizados por agua y energía en la provincia de Córdoba*. Jefatura Estudios y Proyectos Zona Centro - Cuyo. Argentina.
2. Bonillo, P. L., Reyna, S. M., Bartoli Ríos, V., Gióvine, L., Reyna, T. M., Lábaque, M., Morello, A. L., & Bonini, A. (2025). Análisis preliminar de refuncionalización de centrales hidroeléctricas en la provincia de Córdoba. *Ingenio Tecnológico* (7). Universidad Tecnológica Nacional La Plata. Argentina.
3. Guida, J.P. y Guillén, N. (2019). *Modelación hidrológica a corto y largo plazo del Dique La Viña*. Práctica Supervisada. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
4. López, F. & Rodríguez, A. (2011). *Inventario de presas y centrales hidroeléctricas de la República Argentina* 3. Buenos Aires: Ministerio de Planificación Federal. Argentina.
5. Reyna, S. M., Bonillo, P. L., Bonini, A. y Melano, E. A. A. (2025). *Refuncionalización de centrales hidroeléctricas en esquemas de turbinado/bombeo en Córdoba, Argentina*. XXVIII Congreso Nacional del Agua. Buenos Aires.
6. Reyna, S. M., Bonini, A., Bonillo, P. L. y Melano, E. A. A. (2025). *Modernización y repotenciación de centrales hidroeléctricas en la Provincia de Córdoba, Argentina*. XXVIII Congreso Nacional del Agua. Buenos Aires. Argentina.
7. Simon, T. R., Inman, D., Hanes, R., Avery, G., Hettinger, D., & Heath, G. (2023). *Life Cycle Assessment of Closed-Loop Pumped Storage Hydropower in the United States*. *Environmental Science & Technology*, 57(33), 12251–12258. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c09189>
8. SSE Renewables. (2025). *Sloy Power Station*. <https://www.sserenewables.com/hydro/sloyawe/sloy-power-station-redevelopment-plans/>