

# Estudio del impacto de aprovechamientos hidrocinéticos en redes eléctricas de la provincia de Santa Fe

## Study of the impact of hydrokinetic uses in electrical networks of the province of Santa Fe

Presentación: 13 y 14 de septiembre de 2023

### **Marcos Cea**

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe, Centro de Investigación y Desarrollo en Ingeniería Eléctrica y Sistemas Energéticos (CIESE)

[marcoscea28@gmail.com](mailto:marcoscea28@gmail.com)

### **Jorge Vega**

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe, Centro de Investigación y Desarrollo en Ingeniería Eléctrica y Sistemas Energéticos (CIESE)

[jvega@santafe-conicet.gov.ar](mailto:jvega@santafe-conicet.gov.ar)

### **Ignacio Sanseverinatti**

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe, Centro de Investigación y Desarrollo en Ingeniería Eléctrica y Sistemas Energéticos (CIESE)

[cisanseverinatti@frsf.utn.edu.ar](mailto:cisanseverinatti@frsf.utn.edu.ar)

### **Juan Fernandez**

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe, Centro de Investigación y Desarrollo en Ingeniería Eléctrica y Sistemas Energéticos (CIESE)

[jpfernan@frsf.utn.edu.ar](mailto:jpfernan@frsf.utn.edu.ar)

### **Javier Acosta**

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe, Centro de Investigación y Desarrollo en Ingeniería Eléctrica y Sistemas Energéticos (CIESE)

[jaacosta@frsf.utn.edu.ar](mailto:jaacosta@frsf.utn.edu.ar)

### **Resumen**

En base al impulso de las fuentes renovables de energía que se viene gestando en Argentina desde 2006, y considerando los pocos proyectos renovables incorporados en la región del Litoral, en un estudio previo se analiza el potencial hidráulico en diversas cuencas de la provincia de Santa Fe con la finalidad de estimar la posibilidad de inserción de pequeños aprovechamientos hidrocinéticos. Alineado con este estudio, se realiza un análisis técnico del impacto en las redes de subtransmisión de Santa Fe de estos aprovechamientos hidrocinéticos, con el objetivo de mejorar técnicamente el suministro de energía, reducir costos y retrasar la expansión de la red. Mediante análisis en régimen estático se identifican aquellos emplazamientos óptimos para la generación propuesta. Los resultados dejan entrever que se mejoran en forma local los parámetros de operación de la red de media tensión en 33 kV, salvando sobrecargas en líneas y transformadores de potencia.

**Palabras clave:** Aprovechamiento hidrocinético, Perfiles de tensión, Cargabilidad, Régimen Estático.

### **Abstract**

Based on the promotion of renewable energy sources that has been developing in Argentina since 2006, and considering the few renewable projects incorporated in the Litoral region, a previous study analyzes the

hydraulic potential in several basins of the province of Santa Fe with the purpose of estimating the possibility of inserting small hydrokinetic uses. In line with this study, a technical analysis of the impact of these hydrokinetic developments on Santa Fe's subtransmission networks is carried out, with the aim of technically improving the energy supply, reducing costs and delaying the expansion of the network. By means of static regime analysis, the optimal sites for the proposed generation are identified. The results show that the operating parameters of the 33 kV medium voltage grid are improved locally, saving overloads in lines and power transformers.

**Keywords:** Hydrokinetic exploitation, Voltage profiles, Load capacity, Static regime.

## Introducción

En la actualidad, en la República Argentina la potencia instalada de energía renovable (ER) es del 11,63%, encontrándose una mayor participación, de alrededor de un 59%, en generación termoeléctrica a base de hidrocarburos. En este contexto, es de destacar que los Pequeños Aprovechamientos Hidroeléctricos (PAHs) - clasificados según CAMMESA como aquellos aprovechamientos menores a 50 MW (CAMMESA, 2017, pp 3-6)-, representan solo el 10,21% de la potencia instalada en ER y solo un 1,19% de la potencia total instalada en el Sistema Argentino de Interconexión (SADI) (ME-SE-SEE, 2022, pp 1-6).

Los PAHs es un tipo de generación enmarcada en las tecnologías in-stream, conformadas por microturbinas que aprovechan la energía cinética de una corriente o río convirtiéndola directamente en trabajo mecánico en el eje del generador. Entre sus ventajas se puede mencionar que sus diseños permiten una instalación de altura baja o nula eliminando la necesidad de almacenar grandes volúmenes de agua. Frente a otros tipos de tecnología, como ser la solar o eólica -fuentes intermitentes-, en los ríos fluyen caudales relativamente constantes durante todos los días del año, por tanto, los volúmenes de energía generada son más elevados; es notable la reducción de los impactos ambientales, económicos y sociales, especialmente los asociados al represamiento del río y la consecuente generación de un embalse. Esto se debe a que este tipo de tecnologías permite aprovechar la energía de los ríos sin alterar drásticamente la morfología del curso de agua ni el ecosistema circundante, como ocurre cuando se construye una represa (SE, 2008, pp 2-11).

En este marco, y tomando como punto de partida un estudio previo de los autores donde se analiza el potencial hidráulico de las diversas cuencas de la provincia de Santa Fe (Gallo et al., 2023, pp 1-12), se pretende desarrollar una metodología para determinar el impacto en las redes de subtransmisión de la inserción de PAHs en las cuencas mejor aprovechables de Santa Fe, facilitando así la determinación del lugar óptimo para la instalación de turbinas hidrocinéticas. Ello con el objetivo de mejorar técnicamente el suministro de energía, reduciendo costos de operación y retrasando posibles obras expansión de su red de transmisión de energía eléctrica.

## Desarrollo

### *Descripción de la zona de estudio*

Se plantea como zona de estudio puntos cercanos de la red de subtransmisión, a aquellas cuencas hídricas que poseen mayor potencial hidroeléctrico de la provincia de Santa Fe, de acuerdo con lo desarrollado previamente en el análisis energético de las distintas cuencas provinciales (Gallo et al., 2023, pp 1-12). Por simplicidad, en la Figura 1 se presenta la red de 500 kV y 132 kV que atraviesan Santa Fe (trazas color rojo y azul respectivamente) y las locaciones posibles de los PAHs (triángulos naranjas). El estudio abarca el análisis del impacto de la inserción de PAHs en redes de subtransmisión en 132 kV y distribución troncal en 33 kV de la mencionada provincia, en funcionamiento normal -Red N- y ante contingencias simples -Red N-1-.

Se parte del modelo de transmisión en alta tensión (AT) y distribución troncal en media tensión (MT) de Santa Fe, para lo cual se plantean diferentes escenarios de estudio a partir de datos de demanda promedio correspondientes al año 2021 de la red de MT en 33 kV de la mencionada provincia. Posteriormente, se realiza un ajuste gradual de la generación térmica disponible en el subsistema bajo análisis, con la finalidad de obtener el mínimo despacho térmico en cada escenario, tal que se cumplan las condiciones mínimas de operación establecidas en el Anexo 4 de Los procedimientos de CAMMESA (CAMMESA, 2011, pp 2-7). Es de destacar que, en función a la potencia térmica total instalada, los porcentajes de despacho para los escenarios de pico y valle se corresponden a 94% y 77% respectivamente del total disponible.

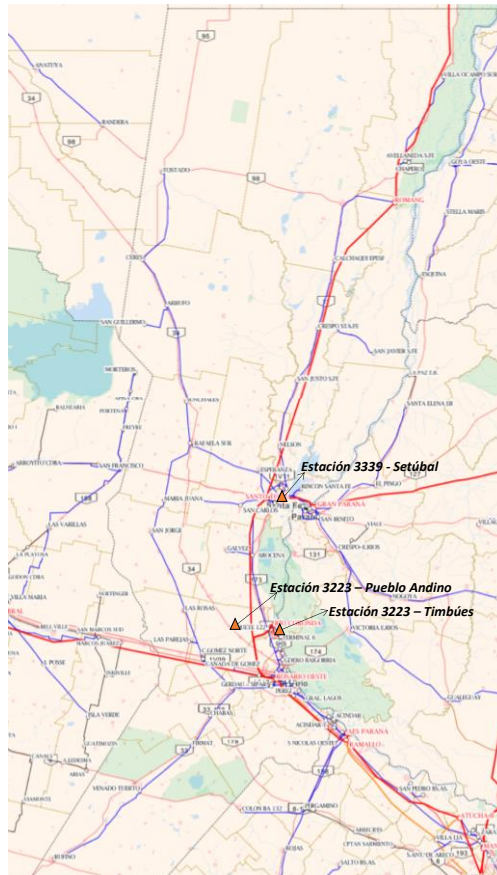


Figura 1. Esquema geográfico de la red de transmisión de la provincia de Santa Fe y ubicación geográfica de las cuencas seleccionadas para el estudio.

### *Metodología de análisis del subsistema*

En la Figura 2 se presenta el flujograma de actividades desarrollado para el análisis del subsistema en las condiciones actuales de operación y con la inserción de los posibles PAHs definidos previamente (Gallo et al., 2023, pp 2-12), a saber: PAH Timbúes, PAH Pueblo Andino y PAH Setúbal.

Para el estudio en régimen estático del subsistema se adoptan las siguientes hipótesis:

- Los electroductos no deben superar en ningún escenario el límite térmico-mecánico impuesto por los conductores, ya sea en el nivel de 132 kV o 33 kV.
- Se adopta como límite admisible de operación de transformadores de potencia el correspondiente a su capacidad nominal, impuesto por el fabricante según su diseño.
- Los generadores se consideran como fuentes de inyección de potencia activa y reactiva, limitadas por sus curvas de capacidad definidas en función de las características electromecánicas. Los mismos operan en modo control de tensión.
- Reguladores de tensión bajo carga de transformadores y bancos de reactivo se simularon con regulación automática.
- Los perfiles de tensión de los corredores deben mantenerse dentro de los límites admisibles estipulados en los procedimientos de CAMMESA (CAMMESA, 2011, pp 2-7): en nodos de 132 kV:  $\pm 5\%$  y en nodos de 33 kV:  $\pm 10\%$ .
- Los PAH se despachan en modo control de tensión -controlando tensión en el nodo de interconexión con la red de MT-. Su curva P-Q encuentra límites de 0,6 pu con fp inductivo y 0,8 pu con fp capacitivo.

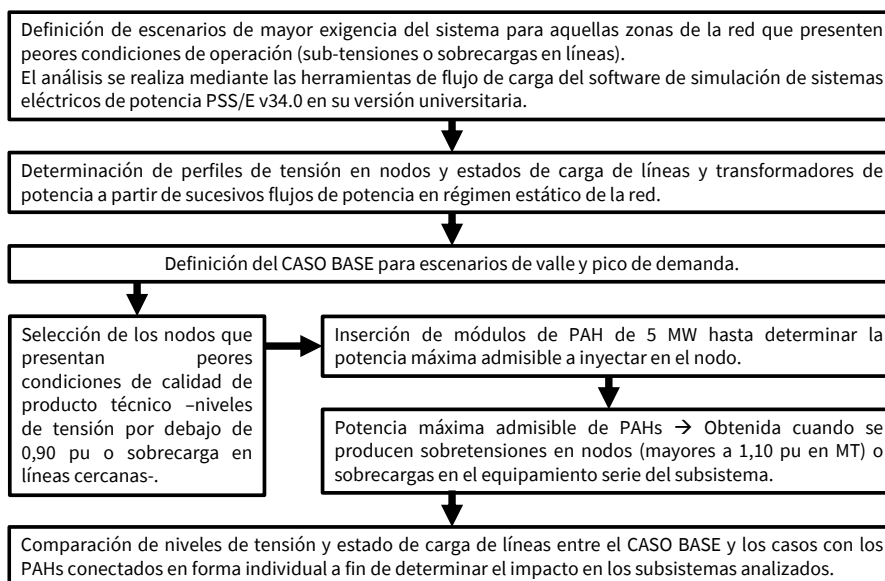


Figura 2. Flujograma de actividades para determinar los módulos admisibles de PAH

## Resultados y discusión

De las sucesivas simulaciones de flujos de carga, se obtienen los límites de la potencia a inyectar en cada nodo seleccionado en función de las condiciones de operación y cercanía a los puntos hidrológicos más aptos para el aprovechamiento energético (ver Figura 1). Los principales límites técnicos se encuentran en la red de MT a partir de niveles de tensión fuera de sus límites admisibles o sobrecargas en electroductos. En la Tabla 1 se resumen los módulos de potencias máximas admisibles para los diferentes emplazamientos de PAH a ingresar en cada subsistema y el equivalente de la potencia en cantidad de turbinas hidrocinéticas.

Tabla 1. Límites técnicos para los módulos de PAHs para los distintos subsistemas analizados

Subsistema donde se interconecta el PAH	Módulo de potencia de cada turbina [kW]	Potencia máxima admisible del corredor [MW]	Cantidad de Turbinas
Timbúes	250	28,50	114
Pueblo Andino		16,75	67
Setubal		21,00	84

Es de destacar que las propuestas de PAH se emplazan en algunas zonas portuarias o vías navegables, por lo cual se considera que la instalación de la cantidad determinada de turbinas hidrocinéticas sobre la margen del río implica un área muy extensa, con lo cual es conveniente limitar el ancho del área donde se disponen estas, evitando así entorpecer la navegabilidad. Por otro lado, se debe minimizar el impacto ambiental a la fauna ictícola y a la calidad del agua (Gutman et al., 2016, pp 2-8). Por ello, adoptando una postura conservadora, se considera una extensión máxima del área de emplazamiento para las turbinas del 10% del ancho total del río, consecuentemente, se opta por reducir el número de equipos que conforman los PAHs a 40 turbinas, lo que equivale a una potencia de 10 MW nominales.

Por simplicidad en la presentación de los datos, en la Figura 3, Figura 4 y Figura 5 se muestran los resultados del análisis en régimen estático para el escenario de pico, ya que del estudio se determina que es el caso en el que la red presenta el mayor estrés.

En lo referente a los estados de carga de los transformadores de potencia (TP) 132/33 kV, en la Figura 3 se observa que en líneas generales se produce un alivio en la cargabilidad de los mismos, entre un 10% y 30% con la inserción de los PAH, destacándose el TP2 de la ET Puerto San Martín, el cual se encuentra cerca del 100% de

carga para el escenario base y los devanados en 33 kV del TP 1 de la ET Calchines que incrementa su estado de carga, aproximadamente un 12%, debido a que el PAH Setúbal se interconecta en el nodo alimentado por este.

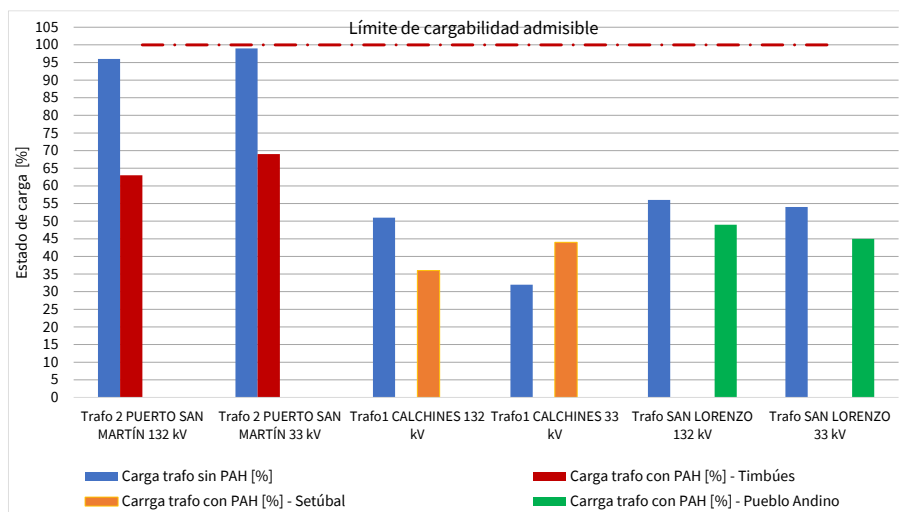


Figura 3. Niveles de carga en transformadores de potencia en ETs cercanas a los PAHs

En lo relativo a la cargabilidad de líneas de MT (LMT) cercanas a los nodos de interconexión de los PAHs, se detectan incrementos apreciables, no representando dificultades para la red, ya que los nuevos estados de carga se encuentran cerca del 50% de su capacidad nominal (ver Figura 4). Se destaca la reducción apreciable del estado de carga de las LMT D\_DOW1-D\_CARG1 y PSM\_33\_B2-D\_DOW1, las cuales presentaban estados de carga cercanos al 90% con la inserción del PAH Timbúes.

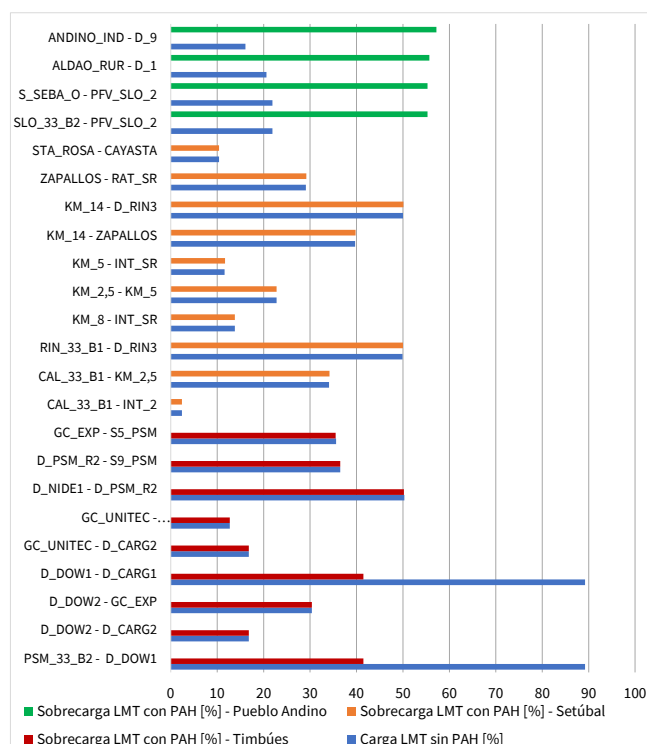


Figura 4. Cargabilidad de líneas de MT cercanas a los puntos de inserción de los PAHs.

Finalmente, por inspección de la Figura 5 se observa que, para los 3 casos analizados, no se presentan variaciones significativas respecto del caso base sin los PAHs (línea azul de puntos), encontrándose todos los valores dentro del rango de valores admisibles por los procedimientos de CAMMESA.

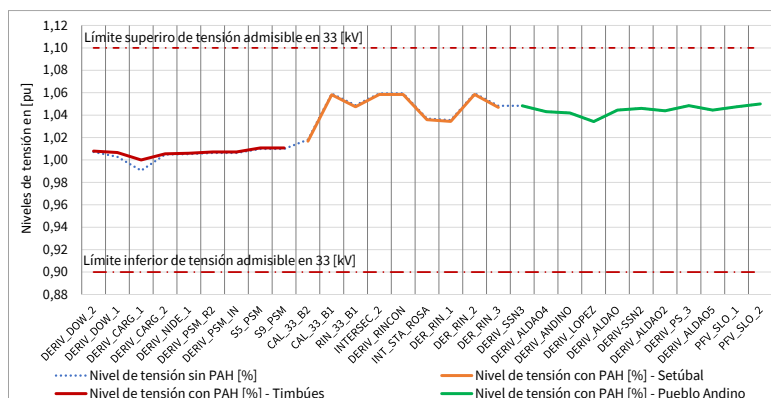


Figura 5. Perfiles de tensión en nodos cercanos a los puntos de inserción de los PAHs.

## Conclusiones

Del análisis de los resultados obtenidos se puede inferir que, con la incorporación de los PAHs en nodos estratégicos de la red, se mejoran los parámetros de operación de la red de MT en 33 kV en las inmediaciones de los emplazamientos propuestos, aliviando la carga del sistema y salvando ciertas sobrecargas en LMT y TPs. En cuanto a los perfiles de tensión, se destaca que no se detectan cambios significativos ante la inserción de los PAH, por lo tanto, se presume que su inclusión no genera problemas de operación.

Los PAHs se vislumbran como una opción para el aprovechamiento de los cauces de la provincia de Santa Fe, con un bajo impacto ambiental en comparación con centrales de embalse. En tal sentido, el PAH Timbúes manifiesta las mejoras técnicas más significativas, contribuyendo a la estabilidad del sistema de potencia en condiciones normales y ante fallas, ubicándose como una opción viable para retrasar obras de infraestructura que solucionan problemas de operación, a su vez que, contribuye a la matriz energética con el aporte de energía renovable y participa activamente en la reducción de la generación a partir de combustibles fósiles.

## Referencias

Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico S.A. [CAMMESA]. (2011). "Anexo: 4 Control de tensión y despacho de potencia reactiva". Disponible en:

<<https://cammesaweb.cammesa.com/los-procedimientos/>>

Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico S.A. [CAMMESA] (2017). "Pliego de Bases y Condiciones – Programa Renovar – Ronda 2". Buenos Aires, agosto 2017. Disponible en:

<<https://cammesaweb.cammesa.com/?wpdmdl=34641>>

Gallo, A.; Cea, M.; Manassero, U.; Furlani, R.; Acosta, J.; Loyarte A. (2023). "Análisis de localización y dimensionamiento de turbinas hidrocinéticas en cuencas hídricas de la provincia de Santa Fe". VIII Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica & III Congreso Argentino de Ingeniería Ferroviaria, VIII CAIM & III CAIFE, Santa Fe, Argentina, 13 al 15 de septiembre.

Gutman, V.; Caratori, L.; Carlino, H.; Levy, A.; Magnasco, E. (2015) "Estudio sobre pequeños aprovechamientos hidroeléctricos (PAH) -Proyecto de una NAMA". Nota técnica del BID; IDB-TN-164. Argentina, 2015

Ministerio de Economía, Subsecretaría de Energía, Subsecretaría de Energía Eléctrica [ME-SE-SEE] (2022). "Energías Renovables Gran Escala 2021". Buenos Aires, Argentina, enero 2022. Disponible en: <[https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2022/01/energias\\_renovables\\_2021\\_se-c.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2022/01/energias_renovables_2021_se-c.pdf)>

Secretaría de Energía [SE] (2008). "Energías Renovables Pequeños Aprovechamientos Hidroeléctricos". Buenos Aires, Argentina, 2008. Disponible en:

<<http://www.energia.gob.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=3484>>