

Los Pequeños Aprovechamientos Hidroeléctricos y la Necesidad de Especialistas

Ariel R. Marchegiani ^{a,*}, Orlando A. Audisio^b, Victor H. Kurtz ^c

^a Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Comahue (UNCo), Neuquén, Argentina.

^b Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Comahue (UNCo), Neuquén, Argentina.

^c Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.

E-mails: ariel.marchegiani@fain.uncoma.edu.ar, orlando.audisio@fain.uncoma.edu.ar, victor.kurtz@fio.unam.edu.ar

Resumen

La falta de competencia, la reticencia a "pensar en pequeño" y la situación económica del país son algunos de los muchos factores y/o actores que hacen que la factibilidad en el desarrollo y uso de la energía hidroeléctrica a pequeña escala sea de escasa viabilidad. Es necesario un cambio de actitud, así como una mayor difusión de los conocimientos técnicos a pequeña escala, si se quiere generalizar el uso y la práctica de esta tecnología, para poder aumentar la participación de estos en la matriz energética nacional.

En este trabajo se analizan algunos puntos que intervienen en el proyecto y diseño de un Pequeño Aprovechamiento Hidroeléctrico (PAH) y las acciones que hacen dificultosa la toma de decisiones a la hora de encarar un emprendimiento de este tipo.

Palabras Clave – Energías Renovables, Pequeñas Centrales Hidráulicas, Pequeños Aprovechamientos Hidroeléctricos.; Factibilidad Técnico - económica de PAH

1. Introducción

Ya hace varias décadas se ha reconocido que los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos (PAH) pueden complementar la producción de combustibles fósiles, y proporcionar un suministro eléctrico económico y fiable a comunidades aisladas. En consecuencia, muchos países han puesto en marcha ambiciosos programas de desarrollo y, ahora que ya se han puesto en marcha algunos de estos sistemas, resulta oportuno examinar los progresos realizados y los problemas que han surgido.

Los PAH o Pequeñas centrales Hidráulicas se clasifican según el salto o altura que aprovechan. En la tabla 1 se da esta clasificación.

Tabla1: Clasificación de los PAH

| DENOMINACION | RANGO DE POTENCIAS [kW] | SALTO [m] | | |
|--------------------|----------------------------|--------------|--------|---------|
| | | BAJO | MEDIO | ELEVADO |
| MICROCENTRALES | hasta 100 | < 15 | 15-50 | > 50 |
| MINICENTRALES | 100-1000 | < 20 | 20-100 | > 100 |
| PEQUENAS CENTRALES | 1000-15000 | < 25 | 23-130 | > 130 |

En el año 2022 el 13,9% de la demanda total de energía eléctrica argentina fue abastecida a partir de fuentes renovables. Se trata de una cifra promedio que pone de manifiesto el continuo avance del sector dentro del conjunto de la matriz energética nacional, a la que contribuye a diversificar mediante la incorporación de nuevas fuentes de generación renovable que suman capacidad en la red.

En cuanto a la generación, la tecnología eólica fue la de mayor participación, aportando el 73% de la generación eléctrica por fuentes renovables; seguida de la solar (15%), las bioenergías (6%) y los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos (5%), según datos de la Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico Sociedad Anónima (CAMMESA) [1]. Como puede verse, los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos fueron los que menos aportaron a la matriz. Es necesario analizar algunas causas de esto.

De hecho, en el informe de CAMMESA se puede observar que; respecto del 2021, la generación hidroeléctrica renovable tuvo una menor participación relativa (figura 1) [2].

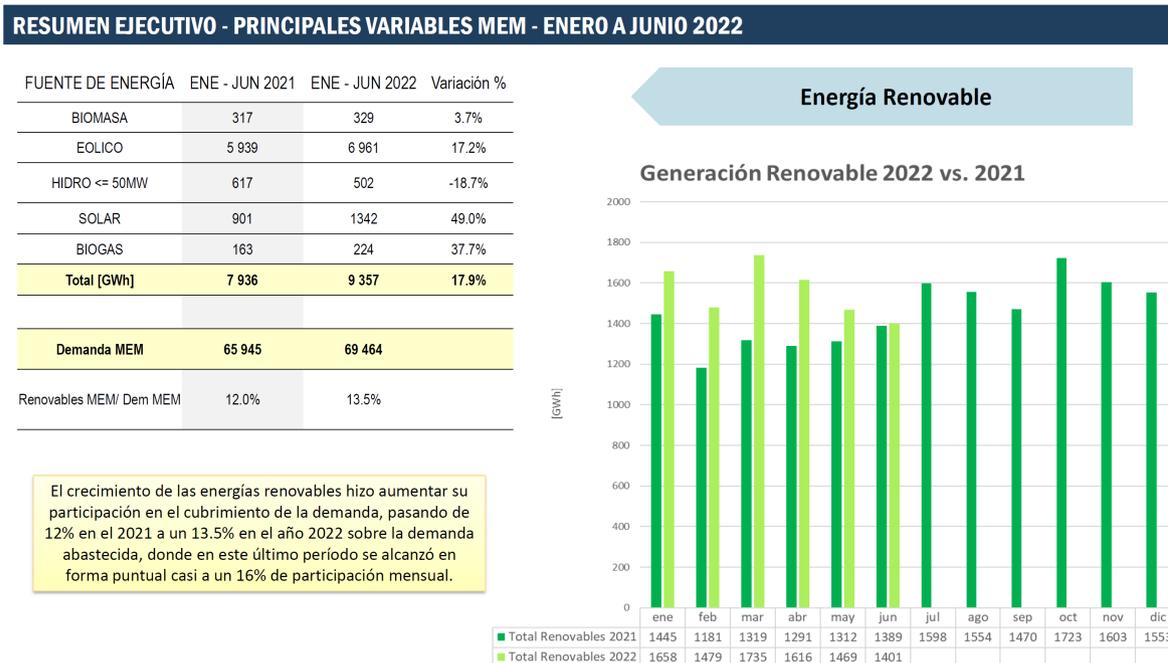


Figura 1. Aporte de las EERR a la demanda energética Argentina periodo ene-jun 2021 – ene-jun 2022 [2].

Como puede observarse, en los últimos años ha habido un aumento en la potencia instalada proveniente de las energías renovables gracias a la legislación vigente, como por ejemplo la Ley 27.424, los Certificados de Crédito Fiscal (CCF), beneficios promocionales que brinda la Subsecretaría de Energía Eléctrica para la instalación de equipos de generación distribuida, los Renovar 1, 1.5 y 2 con los cuales, por ejemplo, se construyeron varios PAH, en la provincia de Mendoza, en el Canal Cacique Guaymallén: salto N.º 6 (1,2 MW), N.º 7 (1,2 MW), N.º 8 (1,2 MW) y N.º 11 (0,51 MW). Los otros 3 construidos fueron el Triple Salto Unificado del canal San Martín en Junín (0,5

MW), entre otros. En la provincia de Neuquén se encuentra en ejecución la Pequeña Central Hidroeléctrica Nahueve (4,6 MW) (figura 2).



Figura 2. PAH Nahueve (Prov. de Neuquén) actualmente en construcción.

2. La problemática de los PAH

Quizá la principal conclusión sea que, a diferencia de las centrales diésel, las minicentrales hidroeléctricas no pueden fabricarse en serie. Cada una debe diseñarse individualmente, ya que cada emplazamiento es único y tiene sus propios problemas peculiares. Esto ha resultado difícil porque hay pocos ingenieros con experiencia en este campo y existe poca bibliografía específica de referencia. El riesgo de esto es que muchos de los proyectos resulten poco factibles y confiables, por lo que existe el peligro de que los propietarios y los operadores se desilusionen y el interés por los proyectos pequeños desaparezca tan rápidamente como surgió. Esta cuestión se agrava cuanto menor es la potencia que puede obtenerse, concretamente cuando se trata de micro aprovechamientos (hasta 100 kW).

Sin embargo, no tiene por qué ser así: en todo el mundo hay miles de pequeñas centrales hidroeléctricas, algunas de las cuales llevan funcionando muchos años, que han contribuido enormemente al desarrollo rural. Muchas de las más exitosas fueron construidas por ingenieros locales con un presupuesto mínimo y financiación procedente de recursos nacionales, como los mencionados en párrafos anteriores. Esto contrasta con algunos de los programas de PAH financiados por organismos de crédito internacionales aplicados a proyectos diseñados por grandes empresas consultoras internacionales. Algunas de estas empresas, hace varias décadas atrás, han reconocido los problemas específicos y para resolverlo, movilizaron a equipos de especialistas [3], pero otras, con poca experiencia previa, han elaborado planes que fueron concebidos y diseñados de manera errónea.

La clave del éxito pasa a través de realizar un estudio exhaustivo de los recursos de la zona, que indique dónde está el potencial, seguido de un estudio de viabilidad de las pequeñas centrales hidroeléctricas. Las pequeñas centrales hidroeléctricas de por sí, tienen un costo específico alto (sobre todo las de menor potencia), por lo que hay que hacer todo lo posible por extraer el último metro de

altura y el último kilovatio del potencial del emplazamiento y, al mismo tiempo, seleccionar el equipo más económico y adecuado.

Desgraciadamente, muchos estudios de viabilidad suelen ser o bien muy baratos y superficiales, que aprovechan mal el potencial del emplazamiento, o bien muy caros, que, aunque optimizan la potencia de la máquina hasta el último kilovatio, pueden ignorar las incertidumbres de la hidrología o proponer proyectos tan complejos y cómodos que, en comparación, la energía diésel resulta más ventajosa. Algunos estudios de optimización no ponderan en la medida que corresponde, las grandes variaciones estacionales del caudal de agua y utilizan curvas anuales de duración del caudal para abastecer el sistema con energía de la estación húmeda que el sistema no puede absorber, sin tener en cuenta el coste de reforzar la escasa producción de la estación seca con generación térmica. Un caso claro de esto fue el programa encarado por la provincia del Neuquén en la década del 80, que produjo un número considerable de micro centrales, de las cuales casi ninguna esta en operación en la actualidad, si bien ha habido varios intentos de restauración. Caso similar ocurrió en la provincia de Misiones.

En el caso de las máquinas de muy baja potencia (*microturbinas*, figura 3), donde generalmente existe una producción “artesanal”, de turbinas que, generalmente realizan fabricantes locales no vinculados exclusivamente al tema y, por lo tanto, no siempre disponen un *know-how* apropiado.



Figura 3: Turbina Pelton de 6 kW de fabricación nacional

Sus productos presentan defectos o malos diseños tanto en la parte hidráulica como mecánica, dejando como resultado máquinas que no tienen una eficiencia adecuada e inclusive un mal funcionamiento.

La producción de equipos que no cumplen adecuadamente con las prestaciones requeridas por los usuarios retrae el interés en las energías renovables, colocándola en un escenario más difícil de penetración [4].

2.1. Algunos problemas que pueden presentarse

Una vez identificado el sistema, puede comenzar el diseño detallado de los distintos componentes. Esto también debe hacerse con cuidado.

Para el operador, la toma de agua es la parte más crítica de todo el proyecto. Incluso durante las crecidas, debe desviar el agua que normalmente va hacia las turbinas mientras el río arrastra cantos rodados, piedras, barro, troncos u hojas. Las rejillas deben poder limpiarse o auto limpiarse.



Figura 3: Obra de toma con Rejilla auto-limpiante tipo Coanda

Dado que la mayoría de los proyectos pequeños implican un desvío del río en lugar de una presa, los canales, las tuberías y las compuertas suelen ser la partida más costosa del proyecto. En este sentido, deben tenerse en cuenta los canales de tierra que son los más económicos para desviar el agua de una toma a un estanque de cabecera.

Las tuberías forzadas representan un costo muy importante en el proyecto, y su diseño suele basarse en supuestos elementales de tensión, combinados con un gran factor de seguridad (es decir, un factor de ignorancia). Esto no sólo da lugar a tuberías innecesariamente pesadas, sino también a la utilización de longitudes de tubería cortas y, por tanto, a un número excesivo de juntas de obra y pedestales. Esto encarece el precio y aumenta el plazo de construcción.

El primer paso en el diseño de una central hidroeléctrica es definir el tipo y la potencia de las turbinas y los generadores. Aunque ya se ha determinado el caudal máximo que debe turbinar cada máquina, cuando hay una gran variación de altura, la determinación de los kW no resulta una definición simple. En primer lugar, para maximizar el rendimiento, hay que determinar el salto neto de diseño. Como éste es siempre inferior al salto máximo normal, la potencia nominal también será inferior a la determinada con la altura máxima. Aunque pueda parecer lógico especificar que el generador sea compatible con esta potencia nominal, la realidad indica que es recomendable que la potencia de la turbina sea más compatible con una altura de elevación cercana o igual a la altura de elevación normal máxima.

Otro aspecto que a menudo se descuida es el vinculado a los distintos ajustes que hay que hacer en los precios de licitación a fin de considerar las diferencias en el rendimiento de la turbina a plena

carga y a carga parcial, las pérdidas de carga de la válvula de entrada, las pérdidas de salida del tubo de aspiración o descarga, la elevación del eje central y otros aspectos similares. Cuando estos factores están claramente definidos, el fabricante puede seleccionar entre su gama de modelos de turbinas y equipos complementarios, de modo de definir una combinación que ofrezca el mejor rendimiento al menor coste. Si el ingeniero consultor asume la responsabilidad de elegir el tipo de turbina, la velocidad y otros parámetros, el riesgo que corresponde al fabricante se traslada al ingeniero consultor y la competencia entre fabricantes se ve gravemente limitada. Para minimizar los costos y las complicaciones innecesarias, la especificación de las máquinas debe adecuarse al esquema en su conjunto y al sistema que suministra.

La experiencia demuestra que el fallo más común es el uso de especificaciones redactadas originalmente para máquinas grandes (es decir, de más de 50 MW), generalmente de eje vertical, y reeditadas para turbinas pequeñas sólo con cambios menores. Uno de los peores aspectos de esta práctica es que se especifican máquinas verticales donde deberían utilizarse máquinas horizontales. Cuando el caudal es inferior a unos 12 m³/s y pueden utilizarse, por ejemplo, turbinas Francis, las máquinas y generadores horizontales son más baratos, mucho más rápidos de montar y más fáciles de mantener. Los tubos de aspiración pueden ser más sencillos y, si es necesario, se puede añadir un gran volante de inercia al extremo opuesto del generador para proporcionar una gran inercia a bajo costo (figura 4).



Figura 4: PAH con turbinas tipo Francis de eje Horizontal (Brasil)

Los encargados de redactar pliegos con especificaciones deben considerar que la mayoría de los fabricantes han optimizado los diseños de sus máquinas y, además tienen estandarizados sus desarrollos. Por lo tanto, el pliego de condiciones no debe establecer requisitos absolutos sobre el diseño, sino que debe exponer claramente las condiciones de emplazamiento exigidas. Sin embargo, muchos redactan pliegos de condiciones rígidas que insisten en un cumplimiento absoluto y que no permiten a los fabricantes ofrecer lo que consideran la provisión más adecuada y óptima.

Es conveniente aprovechar la experiencia que tiene cada proveedor para los pequeños proyectos hidroeléctricos, con el fin de reducir al mínimo los plazos de entrega, costos y logísticas, de este

modo resulta más factible desarrollar muchos proyectos hidroeléctricos que, de otro modo, serían antieconómicos. Además, en esta misma dirección es importante evaluar que muchos fabricantes de turbomáquinas de baja potencia son reticentes a licitar con pliegos de condiciones que contemplan detalles y/o requisitos excesivamente detallados.

Una vez definidas y seleccionadas las máquinas, la racionalidad indica que es factible avanzar y empezar el diseño de la central. Aunque los diseños suelen escalarse a partir de grandes centrales existentes, es esencial contemplar el diseño inicial con ojo crítico y eliminar las características no esenciales que aumentan costos, elevan dificultades operativas y el tiempo de construcción.

2.2 Algunos aspectos del sistema eléctrico, como ejemplo.

El diseño del sistema eléctrico es otra característica que suele tomarse como referencia de los diseños de las grandes estaciones y sistemas generadores de alta potencia. Los que operan conectados en paralelo con líneas generales de distribución eléctrica comercial.

No es raro encontrar tres o cuatro turbomáquinas pequeñas con transformadores unitarios e interruptores de alta tensión conectados a sistemas de alta tensión (66 kV y superiores). Con esta disposición (fig. 5) se necesitan muchos disyuntores de alta tensión y pequeños transformadores de alta tensión, todos ellos caros. Una alternativa sería utilizar uno o dos transformadores elevadores con o sin conmutadores de alta tensión y conmutar a la tensión del generador.

En los sistemas pequeños no existe tal restricción y, en general, no deben utilizarse transformadores unitarios. La disposición mostrada en la fig. 6 es más barata, más fiable y fácil de manejar que la mostrada en la fig. 5.

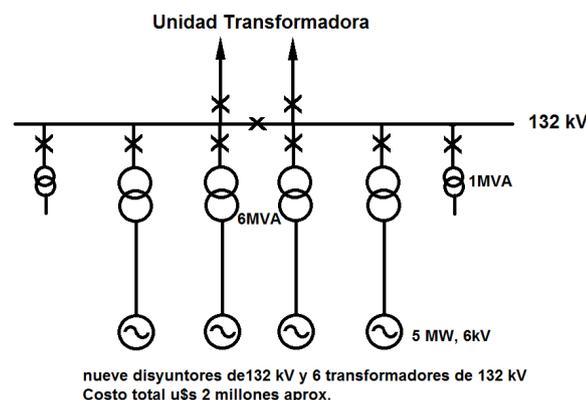


Figura 5: Típica conexión eléctrica para 4 máquinas

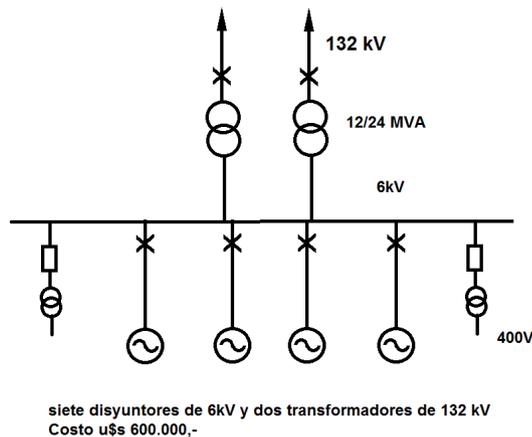


Figura 6: Una versión de la figura 1 más económica e igual de efectiva

Por otro lado, en el caso de que el sistema genere en forma aislada de la red eléctrica comercial. Es importante analizar minuciosamente el tipo de generador a utilizar y el equipamiento de control de velocidad (frecuencia) y tensión generada. Que son especiales y diferentes a los utilizados en los sistemas hidroeléctricos de gran porte.

Por lo tanto; si los diseños racionalizados no están bien concebidos, los esquemas resultarán malos. Si se diseñan individualmente, algunos serán buenos y otros malos. No obstante, la racionalización por sí sola puede permitir a ingenieros relativamente inexpertos diseñar y construir buenos esquemas en un tiempo relativamente corto.

La racionalización u optimización de las turbinas y generadores nunca deberían ser realizados por los encargados de elaborar el proyecto; eso es algo exclusivo que le compete y, por lo tanto, lo definen y deciden; los fabricantes y el mercado. En este sentido, aquellos que racionalicen sus diseños estandarizando con detalles, utilicen herramientas informáticas para determinar dimensiones y producir planos, y hagan uso de máquinas-herramientas de control numérico, tendrán productos con costos más bajos y, presumiblemente, una mayor cuota de mercado.

No hay que olvidar que la clave principal para reducir el costo de las máquinas es la competencia. Cuando se especifica un determinado diseño de máquina, la competencia es limitada y los precios serán elevados.

Para superar los problemas que han surgido se requiere un esfuerzo concertado y decidido por parte de las organizaciones nacionales responsables de los programas de desarrollo, los organismos internacionales de crédito, los ingenieros y los fabricantes. Las organizaciones nacionales tienen la tarea más difícil. En la mayoría de los casos, se encuentran con un campo nuevo, con poco dinero y sin experiencia que les sirva de guía. A menudo no son capaces de realizar estudios de viabilidad al nivel exigido por los organismos internacionales de crédito, por lo que muchas veces deben recurrir a organizaciones o empresas que le brinden ayuda para el diseño de ingeniería y el suministro de equipos. En repetidas ocasiones, y aunque el tipo de interés sea inferior, los diseños y el equipo suelen ser tan innecesariamente caros que los reembolsos reales son muy elevados, lo que lleva a desestimar los proyectos.

3. Conclusiones

Para que los proyectos de PAH sean eficaces y fiables al menor costo posible, se debe poder obtener los servicios de ingenieros y especialista que ya hayan resuelto los problemas que probablemente se les planteen (experiencia profesional) y adquirir en el mercado los equipos que mejor se adapten a sus necesidades. Estos son los problemas que deben superarse.

Aunque las agencias de ayuda desean realmente que su dinero se gaste bien, su burocracia y su política de selección de consultores juegan en su contra, ya que en general su experiencia previa es con grandes proyectos individuales de desarrollo que cuestan cientos de millones de dólares y que tardan muchos años en planificarse y construirse. Estos proyectos exigen el empleo de grandes organizaciones de consultoría con muchos especialistas en campos concretos que elaboran informes detallados (y caros) que cubren todos los aspectos del plan y que pueden proporcionar fácilmente los grandes equipos de ingenieros necesarios para diseñar y construir estos proyectos. Este planteamiento no es adecuado para las pequeñas centrales hidroeléctricas. El costo global y la rapidez exigen que sean diseñados por un pequeño equipo de ingenieros versátiles que puedan optimizar y racionalizar este tipo de proyectos.

Las diversas instituciones, ONG`s y entes gubernamentales, deben brindar apoyo, a fin de obtener un producto de calidad, que satisfaga la demanda energética con un adecuado nivel de eficiencia. Además, las universidades deben llevar adelante algunos programas juntamente con fabricantes locales a fin de lograr diseños adecuados y eficientes, tratando de incrementar el interés en las energías renovables, y propiciar un escenario de penetración más favorable.

En este sentido, el Laboratorio de Máquinas Hidráulicas de la U.N.Co (Universidad Nacional del Comahue). Viene llevados a cabo programas en conjunto con otras universidades como la UNaM (Universidad Nacional de Misiones) y con fabricantes locales con el fin de lograr diseños adecuados y eficientes que permitan incrementar el interés en las energías renovables, y tratar de propiciar un escenario de penetración más favorable.

Agradecimientos

El presente trabajo se encuentra enmarcado en el Proyecto de Investigación 04/I-268, *Estudio y Desarrollo de Turbomáquinas y Sistemas Asociados Aplicados a Pequeñas Fuentes de Energía Renovable II*, aprobado por la Universidad Nacional del Comahue, (2022-2025).-

Referencias

- [1] argentina.gob.ar, (enero de 2023). *Energías Renovables 2022: se cubrió el 13,9% de la demanda y se inauguraron 8 proyectos por más de 47 MW de potencia instalada*. [Online]. Available: <https://www.argentina.gob.ar/noticias/energias-renovables-2022-se-cubrio-el-139-de-la-demanda-y-se-inauguraron-8-proyectos-por>.
- [2] CAMMESA, (Agosto2022). *Resumen Ejecutivo Ene a Jun 2022 vs 2021*, Available: <https://cammesaweb.cammesa.com/download/resumen-ejecutivo-ene-a-jun-2022-vs-2021/>.

- [3] Gordon, J.C., "Small Hydro Puts New Challenge to consultants", Energy International, Vol. 17, # 8, p. 19-21, Aug. 1980,
- [4] Marchegiani A. R, Audisio O. A., Kurtz V. H., "Prácticas frecuentes en el diseño y fabricación de micro turbinas hidráulicas: Estudio de casos", Revista + INGENIO, Revista de Ciencia Tecnología e Innovación, Vol.1 no.2, pp. 35-44, julio-diciembre 2019, ISSN 2618-5520 [online], ISSN 2618-5520 [impresa].