

2.2

Almacenamiento de energía no convencional como energía hidráulica. Estudio de caso de aplicación práctica

Por el CR Ing (R) OIM Alejandro Marcelo Gazpio (*)

El presente trabajo fue presentado, aceptado y expuesto ante el XX Congreso Latino - Iberoamericano de Gestión Tecnológica y de la Innovación ALTEC 2023, Paraná, Entre Ríos, Argentina, septiembre 20, 21 y 22.

Resumen

Argentina dispone de represas hidroeléctricas, que le garantizan 11,3 GW de potencia instalada, numerosas de ellas, mediante adecuados estudios servirán de almacenamiento de energías no convencionales como energía hidráulica. La energía no convencional es aquella generada de forma poco habitual en el mundo de hoy. Por tanto, su uso aún está limitado por los costos de producción y su dificultosa forma para almacenarlas y transformarlas en energía eléctrica. Se las conoce también como energías limpias ya que en general no producen combustión, no contaminan (aunque algún impacto tiene al MA), y no dejan desechos (excepto los residuos de la biomasa). Dentro de las energías más usadas tenemos la: biomasa; eólica; geotérmica; mareomotriz y solar. El método para el estudio de caso elegido es el Geográfico, desarrollado por Humboldt y Ritter en el siglo XIX. Para los Geógrafos la Localización es fundamental para cualquier estudio, luego continúa la Descripción y Explicación; Comparación de fenómenos semejantes; Conexión y Coordinación para finalizar con la Evolución propia del o los eventos. Los estudios para establecer embalses susceptibles como reservorios de agua bombeada mediante energías no convencionales, se realizarán empleando el Método Geográfico. Se ejecutarán también estudios para determinar el sistema impulsor/elevador de agua y la matriz energética de aplicación para el bombeo al embalse. En Europa están operando las denominadas “baterías hidráulicas”, para ello se construyen dos embalses a diferentes alturas. Durante el día, normalmente con excedente de energía solar, se bombea el agua desde el embalse inferior al de cota superior, así se cargaría la denominada “batería hidráulica”, durante la noche se generará hidroelectricidad. Estos sistemas, pueden estar dispersos o bien interconectados al sistema energético nacional. Aplicando la metodología propuesta se ha estudiado una instalación hidroeléctrica ad oc.

PALABRAS CLAVE: REPRESAS HIDROELECTRICAS - ENERGIA NO CONVENCIONAL - BATERIAS HIDRAULICAS - TURBINAS REVERSIBLES -ENERGÍA DISTRIBUIDA CON INTERCONEXIÓN

Introducción

En términos generales las represas tienen dos desempeños principales: retener y/o desviar y aumentar la cota del agua. Para cumplir con los objetivos expresados deben: ser impermeables, es decir que no dejen pasar el agua a su través y, obviamente, resistentes a los empujes que ésta ejerce sobre el cuerpo de presa. Se trata de un muro que se construye en forma perpendicular al cauce de un curso de agua. El agua encausada puede ser manejada para: riego, generación eléctrica; piscicultura; turismo; navegación; consumo industrial y/o humano. También se construyen para la regulación de aguas a fin de evitar inundaciones en áreas cercanas a ríos, suelen ser construidas en hormigón; piedra y/o materiales sueltos. Según registros históricos las primeras represas fueron construidas en la antigua Mesopotamia y en Oriente Medio. Dichas represas fueron utilizadas para controlar los niveles de agua, debido a que las condiciones climáticas reinantes en la Mesopotamia afectaban el régimen de los ríos Tigris y Éufrates. Podemos decir que la primera represa conocida fue la de Jawa en Jordania (año 3.000 a.C.), se trató de una presa de gravedad, la cual originalmente contó con un muro de piedra de 9 metros de alto y con un espesor de 1 metro, siendo sostenido este muro mediante una muralla de tierra apisonada. En el antiguo Egipto se construyó la presa de Sadd el-Kafara en Wadi Al-Garawi, a 25 km al sur de El Cairo, tenía de largo 102 m en su base y contaba con 87 m de ancho. Dicha estructura fue construida aproximadamente entre los 2800 y 2600 a. C., como derivador para controlar inundaciones.

La energía hidráulica es quizá una de las fuerzas más antiguas usadas por el ser humano para la transformación de la materia. La forma más primitiva de obtener fuerza motriz fue mediante norias movidas por seres humanos y/o animales, utilizando ese movimiento rotatorio por ejemplo para la molienda de granos. Mas luego se desarrolló la rueda hidráulica accionada por el movimiento de una corriente de agua de un río o bien de un canal proveniente de una represa. Ya VITRUVIO en el Siglo I a.C. describió el Molino harinero de Barbegal que se encuentra en la actual Francia y que disponía de 16 ruedas hidráulicas con una producción diaria de 28 toneladas de granos procesados. También los romanos usaron las ruedas hidráulicas con el aditamento de “manivelas y bielas” adosadas a sierras, para cortar mármol, tal el caso del aserradero de Hierápolis que funciona a fines del siglo III a.C. Con estos inventos se transformó el movimiento rotatorio en lineal. Otros aserraderos de mármol, fueron descubiertos en Éfeso y Gerasa.

La idea de la construcción de la primera represa hidroeléctrica fue producto del Sr. H.F. Rogers que más tarde pudo concretarla, quien a su vez fue inspirado en los trabajos de Thomas A. Edison. Sin embargo este último proponía el empleo del vapor para mover los generadores de electricidad, a Rogers se le ocurrió que el agua pasando a través de una turbina podría funcionar para generar electricidad también. Efectivamente el 30 de Septiembre de 1882 se construyó la Primer Presa Hidroeléctrica del mundo, ubicada en el río Fox en Wisconsin, Estados Unidos. Cuando la planta comenzó sus operaciones produjo suficiente electricidad para iluminar la casa de Roger y a edificaciones colindantes, algo que en ese momento no parecía un gran avance. Existen algunas controversias, ya que algunos datos señalan que la primera central hidroeléctrica se construyó en 1880 en Northumberland, Gran Bretaña, sin embargo la historia reconoce a Rogers como el pionero y precursor de las presas y centrales hidroeléctricas.

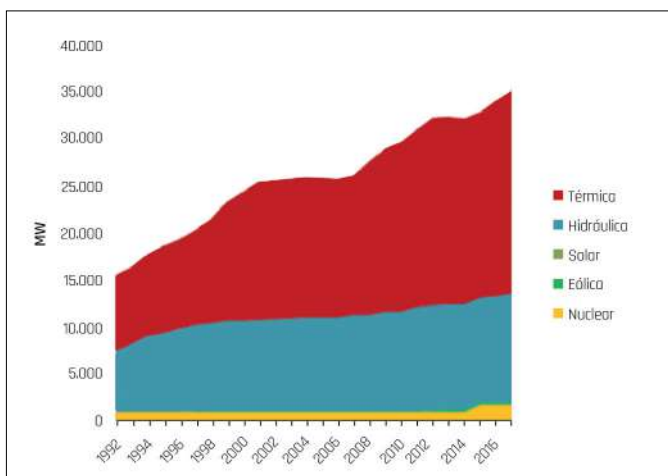
Con el paso del tiempo la hidroelectricidad, se ha convertido en una de las principales fuentes de energía eléctrica del mundo. En la actualidad en términos de producción de electricidad, más precisamente a partir de 2012, la Presa De Las Tres Gargantas en Hubei, China, se convirtió en la presa hidroeléctrica más grande del mundo. La enorme instalación puede generar hasta 22,5 GW (el doble de la capacidad total hidroeléctrica instalada y administrada por el estado argentino). Como dato ilustrativo, el costo para edificar esta represa se estimó de forma no oficial de 75.000 millones de dólares. Puede generar 11 veces más energía que la Represa Hoover en EEUU.

Las presas hidroeléctricas se encuentran dentro de la clasificación de energías renovables, junto a la energía de los biocarburantes; biomasa; eólica; geotérmica; marea motriz; solar; undimotriz (oleaje marino). Asimismo es importante agregar que el agua, últimamente, se está convirtiendo en un recurso que es necesario cuidar, debido al retroceso de los glaciares (producido por el cambio climático global) así como grandes sequías que afectan también a los ríos y estos a su vez a las represas. Por ello los ríos conducen cada vez menos agua y por ende las represas tienen en algunos casos escasez de líquido. A fin de preservar en “recurso agua”, en Europa fundamentalmente, se está recurriendo a la tecnología que se denomina de “baterías hidráulicas”, debido a que en la actualidad el almacenamiento de energía se encuentra entre las prioridades a nivel energético de la Comisión Europea¹. Esta tecnología consiste en almacenar la energía en forma de energía potencial como agua elevada y almacenada en presas. Para ello se construyen dos embalses o depósitos de agua a diferente altura. Durante el día, normalmente con el excedente de energía generada por paneles solares (no excluyente), se bombea desde el depósito de cota inferior al depósito de cota superior, de esta forma se carga la denominada “pila hidráulica”.

En nuestro país existen sistemas o complejos hidroeléctricos que cuentan con dos embalses es decir uno superior y otro a cota más baja, asimismo contamos con suficiente insolación media así como flujo de viento capaz de producir energía renovable en las zonas de los embalses para producir el bombeo del agua. También en algunos de los sistemas de embalse, las turbinas generadoras tienen la propiedad de invertir su funcionamiento de forma de bombear agua desde la presa inferior a la superior. Este tipo de represas son denominadas como reversibles. Básicamente son represas que generan energía en picos de demanda y cuando el sistema interconectado tiene menos demanda, toman energía del mismo para bombear a la presa superior.

En el gráfico 1, sobre la matriz energética de nuestro país, que se muestra a continuación, se puede apreciar una tendencia al aumento en la producción de energía eléctrica mediante el consumo de hidrocarburos,

GRÁFICO 1: MATRIZ ENERGÉTICA DE LA REPÚBLICA ARGENTINA AL 2017



Fuente: Renewable Energy Capacity Statistics 2021 (irena.org)

¹ La protección del medio ambiente y la innovación contribuyen a crear nuevas oportunidades de negocio y empleo, que a su vez estimulan nuevas inversiones. El crecimiento ecológico es un elemento central de la política de la UE para garantizar que en Europa el crecimiento económico sea ambientalmente sostenible. Además, la UE desempeña un papel clave en el impulso al desarrollo sostenible en todo el mundo.

también una tendencia al aplanamiento en materia de hidroelectricidad, así como que presenta una poca participación de las energías no convencionales. Una de las causas más gravitantes de esto último se debe a la dificultad del almacenamiento de la energía. Este paper viene a contribuir a la solución a ese problema.

Metodología

El método utilizado para el estudio de caso es el Geográfico, desarrollado por los Geógrafos Humboldt y Ritter en el siglo XIX. Para los Geógrafos, la localización es fundamental en cualquier estudio que involucre datos ó al medio geoespacial, luego continúa con la Descripción y Explicación; Comparación de aquellos fenómenos que sean semejantes; Conexión y Coordinación para finalizar con la Evolución propia del o los eventos. Por tanto los estudios para establecer embalses susceptibles como reservorios de agua bombeada mediante energías no convencionales, se realizarán empleando el Método Geográfico.

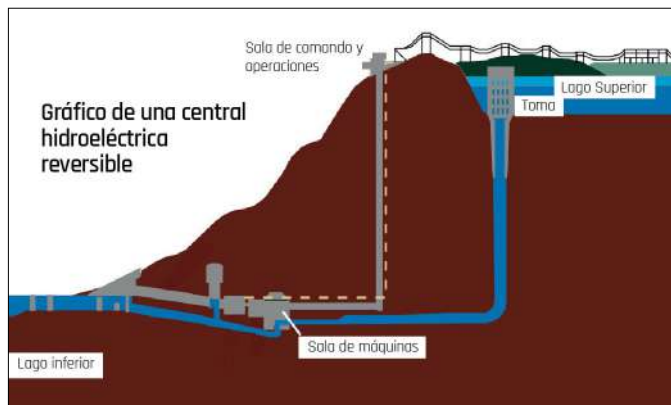
Aplicando la tecnología SIG (Sistemas de Información Geográfica). Sobre la base digital geográfica básica de nuestro país, se le superpuso la capa de información digital sobre centrales hidroeléctricas. Se seleccionaron aquellas centrales hidroeléctricas que dispusieron de dos embalses separados en cota altimétrica. Además dentro de ellos se seleccionaron aquellos sistemas de dos embalses con turbinas reversibles. De este modo se seleccionaron dos sistemas hidroeléctricos que disponen de turbinas reversibles con dos embalses.

Hasta el día de hoy estos sistemas generan energía en circunstancias de picos de demanda², una vez que el sistema interconectado nacional, tiene exceso de oferta de energía, toman de ella y mediante la inversión de sus turbinas maquinan el agua hacia el embalse de cota superior.

Se analizo también usar como energía renovable a la solar a fin de realizar por medio de esta energía no convencional el bombeo del agua hacia la represa superior. De este modo se logra el objetivo del almacenamiento de dicha energía como energía potencial hidráulica. El beneficio que se logra es reducir el consumo de la energía del sistema interconectado aun en momentos de menor demanda ya que de todos modos se está consumiendo, por otra parte se reduce el impacto ambiental con una importante economía al reducir el consumo de agua.

Respecto de utilizar energía solar, como en el mapa de insolación medio se aprecia que es de los más altos dentro de nuestro país y además el costo de la energía solar ha disminuido de manera tal que es muy rentable su utilización así como la logística de instalación es más recomendable.

GRÁFICO 2: CENTRAL HIDROELÉCTRICA REVERSIBLE



Fuente: elaboración propia

² Central de Pico de Demanda, es la que trabaja solamente cuando la demanda de energía así requiere. En el mundo existen numerosas centrales de este tipo, pero hacia finales del siglo xx, comienzan a rivalizar con las centrales de almacenamiento de tipo baterías, debido a varios factores: la reducción de costos de estos elementos, su facilidad para emplazamiento (teniendo en cuenta que no es necesario poseer un site ad-hoc, sino que se acude al almacenamiento distribuido), además de no generar un alto impacto ambiental.

Desarrollo

Sobre la base geográfica básica de nuestro país, se le superpuso la capa de información sobre centrales hidroeléctricas. Quedo así estructurado un Sistema de Información Geográfico ad oc. Se seleccionaron aquellas centrales hidroeléctricas que dispusieren de dos embalses a distinta cota. Además dentro de ellos se seleccionaron aquellos sistemas con turbinas del tipo reversibles. Así es que se seleccionaron dos sistemas hidroeléctricos que disponen de turbinas reversibles con dos embalses.

Asimismo, se utilizó una capa de información sobre insolación media en el territorio de la República Argentina.

Según la publicación oficial INVENTARIO DE PRESAS Y CENTRALES HIDROELÉCTRICAS DE LA R.A., se elaboró el cuadro que sigue a continuación (representa la tabla de atributos para un SIG):

GRÁFICO 3: CUADRO/TABLA CON CARACTERÍSTICAS MÁS RELEVANTES DE LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

Nro	Nombre del Complejo	Ubicación	Embalse inferior	Cantidad de turbinas	Funcionamiento	Consumo anual Bombeo GWh
1	Cobra Corral	25° 14' 5" S 65° 19' 50" O	no posee	3	generación	-
2	El Cadillal	26° 36' 57" S 65° 11' 34" O	no posee	2	generación	-
3	Yacyretá	27° 28' 57" S 56° 44' 22" O	no posee	20	generación	-
4	Río Hondo	27° 31' 18" S 64° 53' 17" O	no posee	2	generación	-
5	Escoba	27° 39' 12" S 65° 45' 48" O	no posee	3	generación	-
6	Cuesta del Viento	30° 11' 34" S 69° 03' 47" O	no posee	1	generación	-
7	Salto Grande	31° 16' 29" S 57° 56' 21" O	no posee	14	generación	-
8	San Roque	31° 22' 23" S 64° 25' 66" O	no posee	4	generación	-
9	Quebrada de Ullum	31° 28' 28" S 68° 39' 01" O	no posee	1	generación	-
10	Los Caracoles	31° 31' 06" S 68° 58' 54" O	no posee	2	generación	-
11	Los Molinos I	31° 49' 06" S 64° 30' 11" O	Lago la quintana	4	generación	-
12	Los Molinos II (Lago la Quintana)	31° 50' 52" S 62° 26' 86" O	no posee	1	generación	-
13	Río Grande (Embalse Cerro Pelada)	32° 13' 41" S 68° 38' 21" O	Arroyo Carta	4	reversible	400 (80%) El 20% lo aporta el Río Grande
14	Potrerillos-Cacheuta	32° 59' 41" S 69° 07' 36" O	no posee	4	generación	-
15	Álvarez Condorco	33° 02' 41" S 69° 03' 03" O	no posee	3	generación	-
16	El Carrizal	33° 17' 54" S 68° 43' 26" O	no posee	2	generación	-

Continúa en pag. 114

17	Agua del Toro	34° 35' 02" S 69° 02' 10" O	no posee	2	generación	-
18	Los Reyunos	34° 36' 06" S 68° 38' 27" O	El Tigre	2	El Tigre	20.2 (6.6%) El 93.4% aporta el Diamante
19	El Tigre	34° 36' 31" S 68° 36' 47" O	no posee	2		-
20	Nihuil IV	34° 49' 59" S 68° 31' 01" O	no posee	1	generación	-
21	Nihuil III	34° 54' 18" S 68° 37' 05" O	no posee	2	generación	-
22	Nihuil II	34° 59' 28" S 68° 37' 22" O	no posee	6	generación	-
23	Nihuil I	35° 01' 43" S 68° 40' 43" O	no posee	4	generación	-
24	Planicie Banderita (complejo Cerros Colorados)	38° 33' 37" S 68° 28' 56" O	no posee	2	generación	-
25	Arroyito	39° 06' 24" S 68° 35' 12" O	no posee	3	generación	-
26	El Chocón	40° 35' 11" S 70° 45' 08" O	no posee	6	generación	-
27	Pichi Picún Leufú	40° 00' 42" S 69° 59' 21" O	no posee	3	generación	-
28	Piedra del Águila	40° 11' 25" S 69° 59' 29" O	no posee	4	generación	-
29	Alicurá	31° 49' 06" S 64° 30' 11" O	no posee	4	generación	-
30	Futaleufú	43° 06' 33" S 71° 39' 04" O	no posee	4	generación	-
31	Florentino Ameghino	43° 41' 59" S 66° 28' 59" O	no posee	2	generación	-
32	Casa de Piedra	38° 11' 51" S 67° 10' 38" O	no posee	2	generación	-

Fuente: <http://datos.energia.gob.ar/dataset/inventario-de-presas>

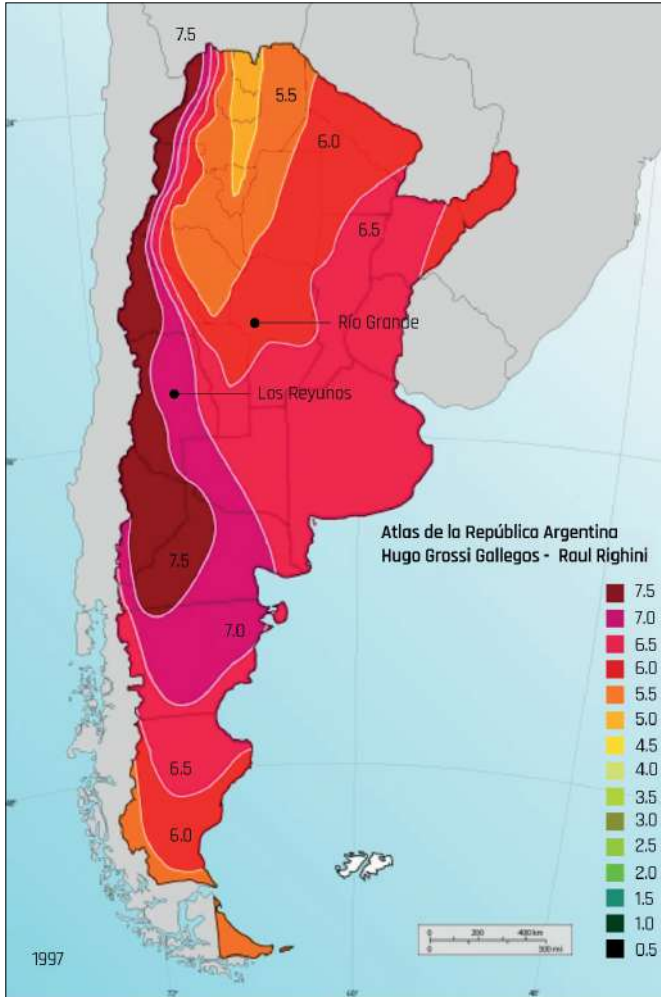
Como se aprecia, el resultado es que dos Sistemas o Presas reúnen la condición de disponer dos lagos separados en cota altimétrica con turbinas reversibles y con adecuada insolación media.

Resultados

Como se ha verificado, dispuesto el procesamiento de los datos, han surgido dos complejos o sistemas hidroeléctricos que son susceptibles de ser utilizadas como almacenamiento de “energía no convencional como energía potencial hidráulica”, ellos son: el SISTEMA DE CERRO PELADO (Córdoba) Pág. 28 del Tomo 1 del INVENTARIO DE PRESAS Y CENTRALES HIDROELÉCTRICAS DE LA R.A. y la REPRESA LOS REYUNOS (Mendoza) Pág. 108 del Tomo 2 del INVENTARIO DE PRESAS Y CENTRALES HIDROELÉCTRICAS DE LA R.A.

De los dos emprendimientos hidroeléctricos, se ha seleccionado a la Presa LOS REYUNOS, como “caso” para ser tenido en cuenta, por el tipo de energía no convencional de bombeo, en función a que la insolación que es máxima.

GRÁFICO 4: DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL PROMEDIO DE LA IRRADIACIÓN SOLAR (INSOLACIÓN) DIARIA KWH/M²



Fuente: Grossi Gallegos H./Righini R. (2007). ARGENTINA – Atlas de energía solar de la Rep. Arg.

GRÁFICO 5: EMPRENDIMIENTOS HIDROELÉCTRICOS SELECCIONADOS

Complejo	Ubicación (Pcia)	Capacidad instalada	Generación anual (*)	Energía anual de bombeo	Insolación media en KWh/m ² día
Río Grande ³	Córdoba Centro	750 MW	500 GWh	400 GWh (80%)	6
Los Reyunos ⁴	Mendoza	224 MW	305 GWh	20.2 GWh (6.6%)	7

Fuente: <http://datos.energia.gov.ar/dataset/inventario-de-presas>

Discusión y análisis

De las dos presas que resultaron seleccionadas por el Método designado, cualquiera podría haber sido la designada a los fines de este ejercicio intelectual. Es más conveniente para este paper es “Los Reyunos” ya que el requerimiento energético para bombeo es menor y teniendo en cuenta que la insolación en la zona es mayor, fue suficiente para decidir la misma como caso de aplicación práctica. Para nuestro caso, Los Reyunos, teniendo en cuenta que se necesitan 20.2 GWh en un año (365 días) para bombear agua a la represa superior, por día se requieren 55.34 MWh. Como la insolación media diaria es de 7 KWh por metro cuadrado y teniendo en cuenta que el rendimiento o eficiencia de la energía solar se encuentra en la actualidad en un 20% (por la ineficiencia propia), se necesitaría cubrir con paneles solares una superficie de unas 3 Ha. Es decir 55.340 KWh/7 KWh por metro cuadrado, como eso representa el 20% del requerimiento, se debe multiplicar por 5, que representaría un parque solar de 39529 metros cuadrados o sea en términos generales 4 hectáreas.

A modo de ejercicio aproximado de costos, teniendo en cuenta un valor medio de una instalación fotovoltaica de 10 kW⁵ que cuesta un mínimo de 10.000 €, hacen que este proyec-

to de reconversión este en el orden de los 55.340.000 de euros. Como información adicional, es importante agregar que entre los años 2000 y 2020, la capacidad de generación de energía renovable o no convencional en todo el mundo aumentó 3,7 veces, (de 754 gigavatios (GW) a 2799 GW). Esto se debe fundamentalmente a que sus costos se han reducido decisivamente, impulsados por: mejoras constantes en la tecnología; economía de escala; cadenas logísticas muy competitivas y la experiencia acumulada por los desarrolladores. Finalmente, los costos de la energía solar fotovoltaica (PV) cayeron en materia de servicios públicos un 85% entre 2010 y 2020.

Conclusiones

Es factible convertir represas para almacenamiento de energías no convencionales si cuentan con un embalse a cota inferior y con turbinas reversibles así como una adecuada insolación media y/o con adecuados vientos. En nuestro país en principio dos centrales hidroeléctricas pueden convertirse en forma rápida como “almacenadoras” de energía no convencional, fotovoltaica, con la finalidad de no consumir energía del sistema interconectado.

Se podrían convertir otras represas si se realiza una presa aguas abajo de la descarga, bombeándose agua de la presa inferior a la superior con bombas alimentadas con energía no convencional.

Referencias

- > Roccatagliata J.A. (coordinador) (2008). ARGENTINA – Una visión actual y prospectiva desde la dimensión territorial. Buenos Aires. Ed. Emecé
- > Grossi Gallegos H./Righini R. (2007). ARGENTINA – Atlas de energía solar de la República Argentina
- > https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Apr/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2021.pdf
- > <https://victoryyepes.blogs.upv.es/2014/07/01/la-presa-de-jawa-posiblemente-la-mas-antigua-documentada/>
- > <https://www.irena.org/publications/2021/Jun/Renewable-Power-Generation-Costs-2020-Summary-ES>
- > https://european-union.europa.eu/priorities-and-actions/actions-topic/energy_es
- > <http://datos.energia.gob.ar/dataset/inventario-de-presas>
- > <https://www.argentina.gob.ar/economia/energia/energia-electrica/hidroelectrica/estadisticas-de-hidroelectricidad-en-argentina>
- > <https://www.vancamperlife.com/cuantos-paneles-solares-necesito-para-generar-10-kw/#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20tama%C3%B1o%20tiene%20un%20sistema%20solar%20de%2010kW%3F,produce%20un%20sistema%20solar%20de%2012kW%20al%20d%C3%ADa>

3 La presa Cerra Pelado, se encuentra en el centro del País, en la provincia de Córdoba, sobre la cuenca del Río Grande, en las coordenadas 32° 13' 41" S y 68° 38' 21" O. La población más cercana es Calamuchita y su principal uso es la generación de energía. Su construcción se inició en el año 1974 y se terminó en 1986, bajo el control de Agua y Energía Eléctrica, comenzó su operación el 14 de febrero de 1986. La presa principal es de materiales sueltos, tiene una altura sobre el lecho del río de 104,00 m y una longitud de 410,00 m, con lo que almacena 371,00 Hm³. Cuenta asimismo con dos presas laterales a ambos márgenes, de iguales características, de 1450,00 m y 59,00 m respectivamente. El caudal medio anual del río es de 11,46 m³/s. La central posee 4 turbinas Francis reversibles, que le permiten trabajar como bomba de elevación de agua, con una potencia unitaria de 187,50MW y una generación media anual de 970,00 GWh.

4 La presa Los Reyunos, se encuentra ubicada en la región de Cuyo al oeste de Argentina en la provincia de Mendoza, en la cuenca del Río Diamante, en las coordenadas 34° 36' 06" Sur y 68° 38' 27" Oeste. La población más cercana a la presa es la ciudad de 25 de mayo y su principal uso es la generación de energía. Su construcción se inicia en el año 1980 y termina el 26 de noviembre de 1983 y comienza su operación bajo el control de Agua y Energía Eléctrica S. E. La presa es de materiales sueltos de eje recto con una altura sobre lecho del río de 106,00 m y una longitud de 295,00 m; lo que le permite almacenar 256,00 Hm³, el caudal medio anual del río es de 34,80 m³/s. La central posee 2 grupos turbina - bomba reversible, con una potencia unitaria de 115,00 MW y una generación media anual de 247 GWh.

5 <https://www.bing.com/search?q=costo+de+instalacion+solar+de+10+KW&PC=U316&FORM=CHROMN>

(*) Alejandro Marcelo Gazpio es Coronel en situación de retiro, promoción 106, Arma de Ingenieros, Ingeniero Militar especialidad Geográfica, Comisión permanente en la República de Bolivia, Especialista en Seguridad e Higiene ocupacional, ex Subdirector IGM, Integrante del CEPTM de la FIE-UNDEF, Regente Técnico de la ET3 "María Sanchez de Thompson, profesor titular de las materias de: Topografía y Geomorfología, Perito Judicial; ha realizado distintas publicaciones sobre su especialidad.