

FACTIBILIDAD DE LAS PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS (PCH)

Por M. Sc. **Noidys Quirós Martín*** y Dr. C. **Jorge M. Fernández Infante****

*Profesora Auxiliar del Departamento de Mecánica Aplicada. Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez

E-mail: noidys@unica.cu

**Profesor Titular. Decano de la Facultad de Ciencias Técnicas. Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez.

E-mail: jorgemfi@unica.cu

Resumen

Un recurso imprescindible para la vida es el agua, a ella están ligados cientos de necesidades humanas, a la vez que crece la demanda de recursos energéticos para cubrir necesidades de consumo y bienestar. Las energías renovables que provienen de fuentes inagotables y no emiten gases de efecto invernadero, son una de las piezas clave en la construcción de un sistema de desarrollo sostenible; dentro de estas energías se encuentra la hidráulica o hidroenergía que se obtiene del aprovechamiento de las energías cinética y potencial de la corriente del agua, saltos de agua o mareas, por lo que toda agua en movimiento, ya sea para consumo poblacional, industrial o el riego, puede ser aprovechada en la producción de electricidad. Con el objetivo de mostrar la factibilidad de las pequeñas centrales hidroeléctricas mediante el estudio del origen de la hidroenergía y las tecnologías que se utilizan en aras de motivar la realización de proyectos encaminados a esta línea de investigación; siendo Cuba un país tropical con un amplio perfil agrícola hace que las PCH sean una respuesta factible en la producción de electricidad.

Palabras clave: Agua, energía, hidroeléctrica, factibilidad.

FEASIBILITY OF SMALL HYDROELECTRIC POWER PLANTS (SHPP)

Abstract

The most essential resources for life is water, hundreds of human needs are linked to it, while the demand for energy resources to meet consumption and well-being needs grows. Renewable energies that come from inexhaustible sources and do not emit greenhouse gases are one of the key pieces in the construction of a sustainable development system; Within these energies is the hydraulic one or hydropower obtained from the use of the kinetic and potential energies of the water current, waterfalls or tides, so that all water in movement either for population consumption, industrial or irrigation, can be used in the production of electricity. With the aim of showing the feasibility of small hydroelectric power plants through the study of the origin of hydropower and the technologies that are used to motivate the implementation of projects aimed at this line of research, Cuba being a tropical country with a wide agricultural profile makes SHPPs a feasible answer in electricity production.

Keywords: : water, energy, hydroelectric, feasibility.

I. Introducción

La disponibilidad de la energía ha sido siempre esencial para la humanidad que cada vez demanda más recursos energéticos para cubrir sus necesidades de consumo y bienestar. Las energías renovables que provienen de fuentes inagotables como el Sol y no emiten gases de efecto invernadero, entre otros beneficios, son una de las piezas clave en la construcción de un sistema de desarrollo sostenible.

Existe una concienciación cada vez mayor sobre los efectos medioambientales que conlleva el actual sistema de desarrollo económico, como son el cambio climático, la lluvia ácida o el agujero de la capa de ozono. Las sociedades modernas, que sustentan su crecimiento en un sistema energético basado principalmente en combustibles fósiles, se inclinan cada vez más hacia la adopción de medidas que protejan nuestro planeta. Así lo reflejan las actuales políticas nacionales y los acuerdos y tratados internacionales que incluyen como objetivo prioritario un desarrollo sostenible que no comprometa los recursos naturales de las futuras generaciones.

Actualmente las energías renovables han dejado de ser tecnologías caras y minoritarias para ser plenamente competitivas y eficaces de cara a cubrir las necesidades de la demanda. Dentro de estas energías renovables se encuentra la hidroeléctrica, como principal aliado en la generación de energía limpia y autóctona [Castro, 2006].

La energía hidráulica o hidroenergía se obtiene del aprovechamiento de las energías cinética y potencial de las corrientes del agua, saltos de agua o mareas. No solo se utiliza el agua para la producción de energía, y aunque en países como Rusia, España, Estados Unidos y algunos de América Latina se destinan grandes volúmenes de agua solo para la producción de electricidad, toda agua en movimiento ya sea para consumo poblacional, industrial o el riego, puede ser aprovechada en la producción de energía.

La falta de nuevos proyectos encaminados a potenciar la hidroenergía como respuesta a necesidades energéticas hace que se tenga como objetivo; mostrar la factibilidad de las pequeñas centrales hidroeléctricas con el estudio del origen de la hidroenergía y las tecnologías que se utilizan con aras de motivar la realización de proyectos encaminados a este fin.

Orígenes

La energía siempre ha sido imprescindible para el ser humano, y gracias a ella puede cocinar, obtener calor, desplazarse grandes distancias, emplear electrodomésticos, máquinas, etc. Al igual que la energía, el agua es un recurso indispensable para la vida en la Tierra, además de que el hombre ha aprovechado la escorrentía de los ríos desde tiempo inmemorial, como molinos de agua y norias.

Gracias al descubrimiento de la electricidad y su aplicación generalizada a finales del siglo XIX, el hombre empieza a considerar el agua como una de las fuentes más importantes de producción de energía eléctrica. Aquí comienza la carrera de la industria eléctrica mundial, que generó los primeros vatios en las centrales hidroeléctricas recién inventadas. Estas se encontraban cerca de los centros de consumo, debido a las dificultades que supo-

nía por aquel entonces el transporte efectivo de electricidad.

La rueda hidráulica, gran rueda montada sobre un eje horizontal provista de cangilones en la corona, se conoció en Egipto y Mesopotamia en torno al año 1000 a.C., por lo que se puede suponer que la energía hidráulica fue la primera forma de energía ajena a la de origen humano o animal.

Leonardo da Vinci (1452-1519) estableció diversos principios sobre el empleo de la energía hidráulica: la potencia depende de la altura, una parte se pierde por fricción y la mayor eficiencia de una rueda hidráulica se logra al chocar el agua con las paletas según un ángulo de 90°.

La central hidroeléctrica creada en 1880 en Northumberland, Gran Bretaña, se puede considerar la primera instalación que transformó la energía del agua de un salto en electricidad.

Una de las primeras centrales del mundo, de producción hidroeléctrica a gran escala, la instaló George Westinghouse en las Cataratas del Niágara, cuya construcción comenzó en 1886, duró diez años y en 1896 transmitió electricidad a la ciudad de Buffalo a una distancia de 35 km.

La central hidroeléctrica mayor del mundo es la de Itaipú, situada sobre el río Paraná, en la frontera entre Brasil y Paraguay. Esta central está compuesta por 18 unidades generadoras de 700 MW cada una, lo que significa una potencia instalada de 12,6 GW. Se inauguró en 1982.

La palabra Turbina la inventó el ingeniero francés Claude Burdin (1790-1873), viene del latín turbo-inem, que significa rotación o giro. Burdin fue un ingeniero teórico, pero su discípulo Fourneyron (1802-1867) fue un ingeniero práctico y logró en 1827 construir la primera turbina hidráulica experimental, a la que dio su nombre.

La utilización del agua en Cuba para generar electricidad, data de principios del siglo XX. El 17 de junio de 1909, en la provincia de Guantánamo se construye la primera Pequeña Central Hidroeléctrica en Cuba, llamada Guaso, nombre del río que la abastecía.

II. Desarrollo

Características de la energía hidroeléctrica

La superficie terrestre está cubierta 71 % de agua. La energía hidroeléctrica proviene indirectamente de la energía del sol, responsable del ciclo hidrológico natural. La radiación que procede de las fusiones nucleares que se producen en el sol calienta la superficie terrestre, ríos, lagos y océanos, provocando la evaporación del agua. El aire caliente transporta el agua evaporada en forma de nubes y niebla a distintos puntos del planeta, donde cae nuevamente en forma de lluvia y nieve. Una parte de la energía solar permanece almacenada en el agua de los ríos, los lagos y los glaciares.

Las centrales y minicentrales hidroeléctricas transforman esa energía en electricidad, aprovechando la diferencia de desnivel existente entre dos puntos. La energía se transforma primero en energía mecánica en la turbina hidráulica, esta activa el generador, que transforma en un segundo paso la energía mecánica en energía eléctrica.

Se considera PCH como tal a las que no sobrepasen los 10 MW por la Comisión Europea, la Unipe de (Unión de Productores de Electricidad). Sin embargo, hay países en los que el límite puede ser tan bajo como 1,5 MW, mientras que en otros como China o los países de América Latina, el límite llega a los 30 MW.

En Cuba se clasifican como mini centrales hidroeléctricas aquellas cuya potencia instalada oscila entre 51 kW y 500 kW; asimismo se denominan microcentrales las de potencias en el rango 1-50 kW según la Organización Latinoamericana de Energía (Olade). Cuba cuenta con 144 centrales hidroeléctricas en funcionamiento, 107 de las cuales se encuentran en regiones montañosas, aisladas del Sistema Eléctrico Nacional (SEN) [Peña y Fariñas, 2020].

La provincia Ciego de Ávila cuenta con una pequeña central hidroeléctrica en el municipio de Florencia, inaugurada el 29 de junio del 2003, se nombra Alzamiento de Jagüecito, instalada aguas abajo del Conjunto Hidráulico Liberación de Florencia. El diseño de la instalación está concebido para producir 11 MWatt cada 24 horas por cada una de sus dos turbinas de generación tipo Francis conectadas en paralelo.

Una PCH no es una central convencional a escala reducida. Una turbina de unos cientos de kilovatios tiene un diseño completamente distinto del de otra de unos cientos de megavatios. Desde el punto de vista de obra civil, una PCH obedece a principios completamente distintos a las grandes centrales alimentadas por enormes embalses, la diferencia se encuentra en la turbina hidráulica a utilizar, dependiendo de características hidrológicas puntuales.

Turbinas hidráulicas

La turbina hidráulica es el elemento clave de la PCH. Aprovecha la energía cinética y potencial que contiene el agua, transformándola en un movimiento de rotación, que transferido mediante un eje al generador produce energía eléctrica. Las turbinas hidráulicas se clasifican en dos grupos: turbinas de acción y turbinas de reacción.

En una turbina de acción la presión del agua se convierte primero en energía cinética. En una turbina de reacción la presión del agua actúa como una fuerza sobre la superficie de los álabes y decrece a medida que avanza hacia la salida.

a) Turbinas de acción

Son aquellas que aprovechan únicamente la velocidad del flujo de agua para hacerlas girar. El tipo más utilizado es la denominada turbina Pelton, aunque existen otros como la Turgo con inyección lateral y la turbina de doble impulsión o de flujo cruzado, también conocida por turbina Ossberger o Banki-Michell.

Pelton. Esta turbina se emplea en saltos elevados que tienen poco caudal. Está formada por un rodete (disco circular) móvil con álabes (cazoletas) de doble cuenco. El chorro de agua entra en la turbina dirigido y regulado por uno o varios inyectores, incidiendo en los álabes y provocando el movimiento de giro de la turbina. La potencia se regula a través de los inyectores, que aumentan o disminuyen el caudal de agua. En las paradas de emergencia se emplea

un deflector que dirige el chorro directamente al desagüe, evitando el embalamiento de la máquina. Esto permite un cierre lento de los inyectores, sin golpes de presión en la tubería forzada.

Estas turbinas tienen una alta disponibilidad y bajo coste de mantenimiento, además de que su rendimiento es bastante alto, superior a 90 % en condiciones de diseño: presenta una curva de rendimiento bastante plana con un rendimiento superior a 80 % para un caudal de 20 % del nominal.

Las posibilidades que ofrece este tipo de máquina hacen que sea muy apropiada para operar con carga parcial, además de permitir una amplia variación de caudales en su funcionamiento. Se puede instalar con eje horizontal o vertical, y con uno o varios inyectores, los que por lo general se combinan:

Eje horizontal en las máquinas con uno o dos inyectores.

Eje vertical en las máquinas con más de dos inyectores. Esta solución encarece el coste del generador.

Turbina de flujo cruzado, también conocida como de doble impulsión, Ossberger o Banki-Michell. Está constituida por un inyector de sección rectangular provisto de un álabe longitudinal que regula y orienta el caudal que entra en la turbina, y un rodete de forma cilíndrica, con sus múltiples palas dispuestas como generatrices y soldadas por los extremos a discos terminales.

El primer impulso se produce cuando el caudal entra en la turbina orientado por el álabe del inyector hacia las palas del rodete. Cuando este caudal ya ha atravesado el interior del rodete proporciona el segundo impulso, al salir del mismo y caer por el tubo de aspiración. Este tipo de turbinas tienen un campo de aplicación muy amplio, ya que se pueden instalar en aprovechamientos con saltos comprendidos entre 1 y 200 metros con un rango de variación de caudales muy grande. Su potencia unitaria está limitada aproximadamente a 1 MW. El rendimiento máximo es inferior al de las turbinas Pelton, siendo aproximadamente 85 %, pero tiene un funcionamiento con rendimiento prácticamente constante para caudales de hasta 1/16 del caudal nominal.

b) Turbinas de reacción

Este tipo de turbinas cuentan con un diseño de rotor que permite aprovechar la presión que aún le queda al agua a su entrada para convertirla en energía cinética. Esto hace que el agua al salir del rotor tenga una presión por debajo de la atmosférica.

Las turbinas de reacción más utilizadas son las Francis y la Kaplan, y la mayoría se compone casi siempre de los elementos siguientes:

- Carcasa o caracol. Estructura fija en forma de espiral donde parte de la energía de presión del agua que entra se convierte en energía cinética, dirigiendo el agua alrededor del distribuidor.
- Distribuidor. Lo componen dos coronas concéntricas; el estator (corona exterior de álabes fijos) y el rotor (corona de álabes móviles).

- Rodete. Es un elemento móvil que transforma la energía cinética y de presión del agua en trabajo.
- Difusor. Tubo divergente que recupera parte de la energía cinética del agua.

Francis. Esta turbina se adapta muy bien a todo tipo de saltos y caudales, y cuenta con un rango de utilización muy grande. Se caracteriza por recibir el fluido de agua en dirección radial, y a medida que esta recorre la máquina hacia la salida se convierte en dirección axial.

El rendimiento de las turbinas Francis es superior a 90 % en condiciones óptimas de funcionamiento. Permite variaciones de caudales entre 40 % y 105 % del caudal de diseño, y en saltos entre 60 % y 125 % del nominal.

Los elementos que componen este tipo de turbinas son los siguientes:

- Distribuidor. Contiene una serie de álabes fijos y móviles que orientan el agua hacia el rodete.
- Rodete formado por una corona de paletas fijas, con una forma que cambia la dirección del agua de radial a axial.
- Cámara de entrada. Puede ser abierta o cerrada, y tiene forma espiral para dar una componente radial al flujo de agua.
- Tubo de aspiración o de salida de agua. Puede ser recto o acodado, y cumple la función de mantener la diferencia de presiones necesaria para el buen funcionamiento de la turbina.

Turbinas Hélice, Semikaplan y Kaplan. Las instalaciones con turbina hélice se componen básicamente de una cámara de entrada abierta o cerrada, un distribuidor fijo, un rodete con 4 o 5 palas fijas en forma de hélice de barco y un tubo de aspiración.

Las turbinas Kaplan y Semikaplan son variantes de la hélice con diferentes grados de regulación. Ambas poseen el rodete con palas ajustables que les proporciona la posibilidad de funcionar en un rango mayor de caudales.

La turbina Kaplan incorpora un distribuidor regulable que le da un mayor rango de funcionamiento con mejores rendimientos, a cambio de una mayor complejidad y un coste más elevado. Su rendimiento es de aproximadamente 90 % para el caudal nominal y disminuye a medida que se aleja de él. Este tipo de turbinas se emplea generalmente para saltos pequeños y caudales variables o grandes.

En función de las características del aprovechamiento y de los aspectos técnicos y económicos se observa lo siguiente:

- Para una central de tipo fluyente, con un salto prácticamente constante y un caudal muy variable, es aconsejable la utilización de una turbina Kaplan o Semikaplan.
- La turbina de hélice se utiliza en centrales con regulación propia que funcionan con caudal casi constante entre unos niveles máximo y mínimo del embalse.

La variación admitida en el salto en estos tres tipos de turbina es de 60 % a 140 % del diseño, y en caudal, de 40 % a 105 % del caudal nominal para la hélice, de 15 % a 110 % para las Kaplan, situándose la Semikaplan entre ambas.

La implantación de este tipo de turbinas suele ser con eje vertical, en cámara abierta o cerrada, aunque en ocasiones es más conveniente otro tipo de instalación con eje horizontal o ligeramente inclinado, como las turbinas tubulares o de bulbo.

Tubular. Se denominan turbinas tubulares o en «S». Su implantación puede ser de eje horizontal, inclinado o vertical, y tiene un rendimiento ligeramente superior a las Kaplan en cámara, de entre 1 % o 2 %.

Bulbo. El generador está inmerso en la conducción, protegido por una carcasa impermeable.

El rendimiento es aproximadamente 1 % superior al de la turbina tubular. Tiene la ventaja de que la obra civil necesaria se reduce, pero los equipos son más complejos y esto dificulta su mantenimiento.

Rangos de utilización y rendimientos de las distintas turbinas

En función del salto (grande o pequeño) y del caudal (variable o constante, alto o bajo), es más conveniente usar un tipo u otro de turbina. Esto es lo que nos indica el rango de utilización.

Hay que tener en cuenta la curva de rendimiento de cada turbina, que varía según sea el caudal de funcionamiento (Fig. 1). En general, la turbina a utilizar sería:

- Kaplan. Saltos pequeños y caudales variables.
- Francis. Saltos más elevados y variaciones de caudal moderadas.
- Pelton. Grandes saltos, independientemente de la variación de caudal.

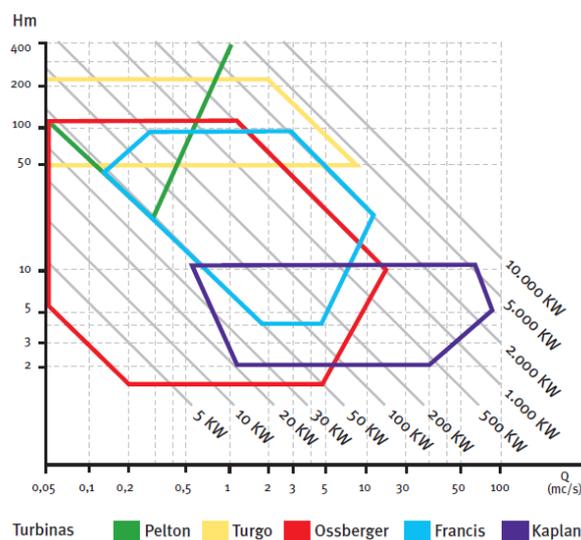


Fig. 1. Curva de rendimiento de cada turbina.

También varía el rendimiento en función del salto donde se vaya a instalar la PCH. Esta variación es menos acusada, pero conviene analizarla, ya que para obtener una

estimación correcta de la energía producida en un aprovechamiento hay que analizar el rendimiento de la turbina en cada régimen de funcionamiento.

Potencia nominal: es la máxima potencia producida por el generador en condiciones de diseño. Viene expresada por la fórmula siguiente:

$$P_n = 9,81 \cdot Q_n \cdot H_n \cdot R_t \cdot R_g$$

P_n = Potencia nominal en KW

Q_n = Caudal de equipamiento en m³/s

H_n = Salto neto de diseño en metros

R_t = Rendimiento de la turbina para *H_n* y *Q_n* de diseño

R_g = Rendimiento nominal del generador

Tipos de PCH

Las PCH están muy condicionadas por las peculiaridades y características que presente el lugar donde vayan a ser ubicadas. Cuando se vaya a poner en marcha una instalación de este tipo hay que tener en cuenta que la topografía del terreno va a influir tanto en la obra civil como en la selección de la maquinaria.

Según el emplazamiento de la central hidroeléctrica se realiza la clasificación general siguiente:

Centrales de agua fluyente. Captan una parte del caudal del río, lo trasladan hacia la central y una vez utilizado se devuelve al río.

Centrales de pie de presa. Se sitúan debajo de los embalses destinados a usos hidroeléctricos o a otros usos, aprovechando el desnivel creado por la propia presa.

Centrales en canal de riego o de abastecimiento.

1. Central de agua fluyente

Es aquel aprovechamiento en el que se desvía parte del agua del río mediante una toma, y a través de canales o conducciones se lleva hasta la central donde será turbinada. Una vez obtenida la energía eléctrica el agua desviada es devuelta nuevamente al cauce del río (Fig. 2).

Dependiendo del emplazamiento donde se sitúe la central será necesario la construcción de todos o solo algunos de los elementos siguientes:

- Azud.
- Toma.
- Canal de derivación.
- Cámara de carga.
- Tubería forzada.
- Edificio central y equipamiento electro-mecánico.
- Canal de descarga.
- Subestación y línea eléctrica.

Dentro de este grupo hay diversas formas de realizar el proceso de generación de energía. La característica común a todas las centrales de agua fluyente es que dependen directamente de la hidrología, ya que no tienen capacidad de regulación del caudal turbinado y este es muy variable.

Estas centrales cuentan con un salto útil prácticamente constante y su potencia depende directamente del caudal que pasa por el río. En algunos casos se construye una pequeña presa en la toma de agua para elevar el plano de

esta y facilitar su entrada al canal o tubería de derivación. El agua desviada se conduce hasta la cámara de carga, de donde sale la tubería forzada por la que pasa el agua para ser turbinada en el punto más bajo de la central.

Para que las pérdidas de carga sean pequeñas y poder mantener la altura hidráulica, los conductos por los que circula el agua desviada se construyen con pequeña pendiente, provocando que la velocidad de circulación del agua sea baja, puesto que la pérdida de carga es proporcional al cuadrado de la velocidad. Esto implica que en algunos casos, dependiendo de la orografía, la mejor solución sea optar por construir un túnel, acortando el recorrido horizontal.



Fig. 2. Elementos claves de central de agua fluyente.

2. Central de pie de presa

Es aquel aprovechamiento en el que existe la posibilidad de construir un embalse en el cauce del río para almacenar sus aportaciones, además del agua procedente de las lluvias y del deshielo. La característica principal de este tipo de instalaciones es que cuentan con la capacidad de regulación de los caudales de salida del agua, que será turbinada en los momentos en que se precise. Esta capacidad de controlar el volumen de producción se emplea en general para proporcionar energía durante las horas punta de consumo (Fig. 3).

La toma de agua de la central se encuentra en la denominada zona útil, que contiene el total de agua que puede ser turbinada. Debajo de la toma se sitúa la denominada zona muerta, que simplemente almacena el agua no útil para turbinar.

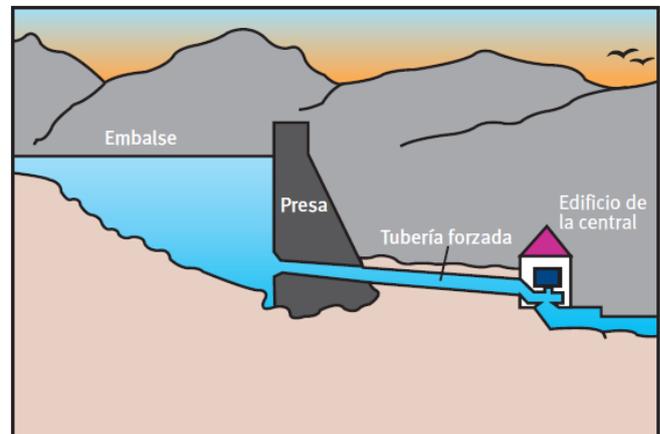


Fig. 3. Central de pie de presa.

Según la capacidad de agua que tenga la zona útil, la regulación puede ser horaria, diaria o semanal. En las PCH

el volumen de almacenado suele ser pequeño, permitiendo por ejemplo producir energía eléctrica un número de horas durante el día, y llenándose el embalse durante la noche. Si la regulación es semanal, se garantiza la producción de electricidad durante el fin de semana, llenándose de nuevo el embalse durante el resto de la semana.

También se incluyen en este grupo aquellas centrales situadas en embalses destinados a otros usos, como riegos o abastecimiento de agua en poblaciones. Dependiendo de los fines para los que fue creada la presa, se turbinan los caudales excedentes, los caudales desembalsados para riego o abastecimiento, e incluso los caudales ecológicos.

3. Central hidroeléctrica en canal de riego (Fig. 4)

Se distinguen dos tipos de centrales dentro de este grupo:

- Aquellas que utilizan el desnivel existente en el propio canal. Mediante la instalación de una tubería forzada, paralela a la vía rápida del canal de riego, se conduce el agua hasta la central, devolviéndola posteriormente a su curso normal en canal.
- Aquellas que aprovechan el desnivel existente entre el canal y el curso de un río cercano.



Fig. 4. Central hidroeléctrica en canal de riego.

La central en este caso se instala cercana al río y se turbinan las aguas excedentes en el canal.

Las obras a realizar en estos tipos de centrales son las siguientes:

- Toma en el canal, con un aliviadero que habitualmente es en forma de pico de pato para aumentar así la longitud del aliviadero.
- Tubería forzada.
- Edificio de la central con el equipamiento electro-mecánico.
- Obra de incorporación al canal o al río, dependiendo del tipo de aprovechamiento.
- Subestación y línea eléctrica.

Conclusiones

El adecuado aprovechamiento de los recursos naturales es fundamental para la vida del Planeta Tierra, y el agua es uno de los recursos más preciados tanto para cubrir necesidades humanas como para el riego de plantas y la producción de alimentos.

La instalación de tecnologías para producir energía mediante fuentes renovables garantiza el futuro energético del país, escoger las adecuadas, con alto nivel de eficiencia, dependerá de estudios científicos que muestren las fortalezas de cada una de ellas localizadas según las características de nuestro país.

El campo de la Hidroenergía es fundamental en el camino de las energías renovables. Siendo Cuba un país tropical con un amplio perfil agrícola, hace que las PCH sean una respuesta factible en la producción de electricidad.

Bibliografía

- AGENCIA CUBANA DE NOTICIAS (2018). «Aporta energía pequeña central hidroeléctrica de Ciego de Ávila». Disponible en: <http://agenciacubanadenoticias.cu>. Revisado: diciembre del 2019.
- CASTRO, ADRIANA (2006). *Manuales de Energías Renovables, Volumen 6. «Minicentrales Hidroeléctricas»*. Confeccionado por IDEA y APIA, Madrid.
- «Energía hidroeléctrica». En *National geographic, medioambiente*. 2010. Disponible en: <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/energia-hidroelectrica>. Revisado: 27 de noviembre del 2018.
- FONG BARRIOS, J. ET AL. (2018). «Design of a regulator of frequency for small central hydroelectric in isolated operation»; *Journal of Engineering and Technology for Industrial Applications*, 2018, Ed. 13, v. 4, pps. 140-148, ISSN: 2447-0228. Revisado: febrero 2020. Disponible: <https://dx.doi.org/10.5935/2447-0228.20180021> [Links].
- HIDROENERGÍA (2018). «Estado de las Instalaciones actualizado 30-12-2018». Reporte Interno. Empresa de Hidroenergía: Unión Eléctrica; 2018. Revisado: febrero 2020.
- NEKRASOV (1985). *Hidráulica*. Editorial Pueblo y Educación, 1985.
- PEÑA PUPO, LEONARDO Y ERNESTO YOEL FARIÑAS WONG (2020). «Mejoras en la eficiencia energética de las mini-hidroeléctricas aisladas mediante la regulación combinada flujo-carga lastre». En revista *Ingeniería Energética* versión On-line ISSN 1815-5901. *Energética* vol.41 no.1 La Habana ene.-abr. 2020. Disponible en: <https://webstore.iea.org/download/tableofcontents/1173> [Links].
- SOUZA ZD, MOREIRA SAH, DA COSTA BE (2018). *Centrais hidrelétricas: implantação e comissionamento*. 3ra ed. Rio de Janeiro 2018. Disponible en: <https://www.amazon.es/Centrais-Hidrel%C3%A9tricas-Implanta%C3%A7%C3%A3o-Comissio-namento-Zulcy/dp/8571933782> [Links]. Revisado: febrero 2020.

Recibido: 20 de noviembre de 2020.

Aceptado: 10 de diciembre de 2020.