



Sistema de producción de energía hidroeléctrica mediante una rueda hidráulica en el río Chone, Ecuador.

Hydroelectric power production system using a waterwheel on the Chone River, Ecuador.

Sistema de produção de energia hidrelétrica usando uma roda d'água no rio Chone, Equador.

Walter José Zambrano-Romero ¹
walterzambrano@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-9747-4808>

Correspondencia: walterzambrano@gmail.com

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 23 de enero de 2023 * **Aceptado:** 25 de febrero de 2023 * **Publicado:** 27 de marzo de 2023

- I. Magíster en Pedagogía mención en Innovación Educativa, Ingeniero en Diseño Gráfico, Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ciencias Humanística y Sociales.

Resumen

En la presente investigación se explican las maneras utilizadas por la humanidad para la producción de energía hidroeléctrica, con un método limpio usando recursos renovables de poco impacto ambiental, dando realce a la energía hidráulica, por ser la metodología que usa uno de los recursos más predominantes en el planeta como lo es el agua de los ríos utilizada en tiempos pasados en las que se empleaba otro tipo de método para la producción de energía como lo es la rueda hidráulica, que data de tiempo antes de Cristo, que permite que hoy son las grandes turbinas empleadas en las centrales hidroeléctricas. En esta fase de fundamentos que apoyan este estudio se dispone de información teórica con la cual se tendrá una idea más clara acerca del tipo de sistema utilizado para la transformación de energía como, estudios hidrológicos, tipo de conexiones y generalidades de la rueda hidráulica, canales y características de diseño. Se da énfasis a la transformación de energía, mediante el aprovechamiento del caudal del río por la rueda hidráulica, para de esta manera adaptar un sistema de rueda hidráulica al río Chone de la provincia de Manabí, Ecuador por ser un método de producción de energía limpia y que beneficiará a personas, así como al medio ambiente y proveer un aporte para que las personas tengan conciencia aplicando energía limpia libre de contaminantes, con todos los datos y ecuaciones, se espera que sea de un fácil entendimiento para la generación de la energía.

Palabras Clave: Energías alternativas; Hidroelectricidad; Rueda hidráulica.

Abstract

In the present investigation, the ways used by humanity for the production of hydroelectric energy are explained, with a clean method using renewable resources with little environmental impact, highlighting hydraulic energy, as it is the methodology that uses one of the most predominant resources on the planet, such as the water from rivers used in the past, in which another type of method was used for the production of energy, such as the hydraulic wheel, which dates from before Christ, which allows today to be the large turbines used in hydroelectric power plants. In this phase of foundations that support this study, theoretical information is available with which a clearer idea will be had about the type of system used for the transformation of energy, such as hydrological studies, type of connections and generalities of the hydraulic wheel, channels and design features. Emphasis is given to the transformation of energy, through the use of the river

flow by the hydraulic wheel, in order to adapt a hydraulic wheel system to the Chone river in the province of Manabí, Ecuador for being a clean energy production method. and that it will benefit people, as well as the environment and provide a contribution so that people are aware of applying clean energy free of contaminants, with all the data and equations, it is expected to be easy to understand for energy generation.

Keywords: Alternative energies; Hydroelectricity; Waterwheel.

Resumo

Na presente investigação são explicadas as formas utilizadas pela humanidade para a produção de energia hidrelétrica, com método limpo utilizando recursos renováveis com pouco impacto ambiental, destacando a energia hidráulica, por ser a metodologia que utiliza um dos recursos mais predominantes. planeta, como a água dos rios utilizada no passado, em que outro tipo de método era utilizado para a produção de energia, como a roda hidráulica, que data de antes de Cristo, que permite hoje serem as grandes turbinas utilizadas em usinas hidrelétricas. Nesta fase de fundações que suportam este estudo, estão disponíveis informações teóricas com as quais se terá uma ideia mais clara sobre o tipo de sistema utilizado para a transformação de energia, como estudos hidrológicos, tipo de ligações e generalidades da roda hidráulica, canais e recursos de design. Ênfase é dada à transformação de energia, através da utilização do fluxo do rio pela roda hidráulica, a fim de adaptar um sistema de roda hidráulica ao rio Chone na província de Manabí, Equador por ser um método de produção de energia limpa. e que beneficiará as pessoas, assim como o meio ambiente e dará uma contribuição para que as pessoas tenham consciência de aplicar energia limpa e livre de contaminantes, com todos os dados e equações, espera-se que seja de fácil entendimento para geração de energia.

Palavras-chave: Energias alternativas; Hidroeletricidade; Roda d'água.

Introducción

La producción de energía limpia a través de un sistema hidroeléctrico en un canal abierto utilizando la energía cinética que se produce mediante el movimiento del agua del río Chone, que a su vez impactan con los álabes de la rueda hidráulica y transmitiendo su movimiento, produciendo el movimiento giratorio de la rueda y así aprovechar para lograr obtener, generar así como transmitir la energía mecánica transformándola en energía hidroeléctrica para poder ser aprovechada de

diversas formas como pueden ser en el alumbrado público, motores para riego, uso de cámaras de seguridad y más aplicaciones que son necesarias para el uso del ser humano.

Para analizar este tema es necesario conocer las causas que llevan a elaborarlo, entre algunas de las razones se encuentra el hecho que existen zonas a los cuales no llegan los tendidos eléctricos ya que son localidades alejadas y disponen de un curso de agua cercano, pueden ser beneficiados para que puedan gozar de energía eléctrica sin la necesidad de generadores de combustible fósiles haciendo uso de este modelo de producción de energía.

Este modo de producir energía no solo va dirigido hacia las zonas donde la energía eléctrica no llega, también puede ser usada en cualquier localidad donde exista un río y que la población se quiera beneficiar para ser autogenerada la energía que ellos consumen. La importancia de esta investigación está dirigida, hacia las necesidades de las personas y en el cuidado del medio ambiente ya que se genera energía limpia proveniente de un recurso renovable. Teniendo presente que cada vez está más afectada la capa de ozono por las grandes cantidades de dióxido de carbono producidas por centrales de energía con recursos no renovables, por lo que se debería contribuir con innovaciones para mantener y cuidar nuestro medio ambiente que es el único lugar donde podemos vivir y que, a causa de las malas decisiones, malos hábitos en las cuencas, cultura general perjudicamos y ponemos en riesgo nuestra vida y la de los demás.

Esta investigación se basa en una idea extraída de la ingeniería de 200 años antes de Cristo donde los romanos y griegos usaban grandes molinos de agua con la finalidad de moler granos y producir harina o en ferrerías para elaborar artefactos metálicos, esta idea es llevada con el paso de los años a lo que hoy son las grandes represas de agua.

Como intención principal de esta investigación se centra en aprovechar el caudal de los ríos sin la necesidad de represarlos y así satisfacer una necesidad humana como lo es la energía eléctrica. En agricultura también sería de gran apoyo ya que con la misma estructura se podría llevar la misma agua del río hacia lugares apartados del mismo y poder servir de almacenamiento para riego o para el consumo de personas y animales.

En la antigüedad los romanos y griegos aprovechaban el gasto de los ríos para utilizar esa energía; usando molinos hidráulicos para obtener harina o para llevar el agua por tuberías a lugares lejanos al río y usarlo para regadío o consumo de las personas y los animales. Sin embargo, la posibilidad de emplear esclavos y animales de carga retrasó su aplicación hasta el siglo XII. En la edad media, las ruedas hidráulicas generaban una potencia de cincuenta caballos (Espacio Eureka, 2016). La

energía hidráulica en los tiempos de la revolución industrial fue de mucha ayuda ya que se empezaba a aprovechar el trabajo de los ríos o canales y las industrias cada vez necesitaban de menos hombres para realizar sus trabajos ya que fueron sustituidos por las máquinas (Velasco, 2009). La energía hidráulica ayudó al crecimiento de las nuevas ciudades industriales que se crearon en Europa y América. Para la instalación de más de una rueda en el mismo río era necesario la adecuación de canales para asegurar un flujo permanente y de la misma manera cuando el desnivel era mayor a cinco metros se elaboraban represas, la construcción de grandes represas de contención todavía no era posible.

En este sentido el estudio evidencia que está basado en el desarrollo de este tipo de sistema de obtención de energía limpia por el caudal del río, es justificada ya que se está usando un recurso renovable que se puede implementar a cualquier área en la que se encuentre un río cercano, beneficiándola de energía eléctrica. Es importante destacar que el medio ambiente no se verá afectado y al contrario es un aporte para mantener nuestro ecosistema libre de contaminación, poniendo en segundo plano los generadores a combustión.

El objetivo general de este estudio está centrado en la generación de energía limpia mediante el aprovechamiento del caudal del río, sin necesidad de represar el agua y su aplicabilidad en el río Chone, provincia de Manabí Ecuador.

En este orden de ideas algunas consideraciones teóricas necesarias para sustentar la investigación se describen a continuación. Energía es la capacidad de un cuerpo para efectuar un trabajo (aprendemostecnologia.org, 2015). El principio de conservación de la energía expresa que la energía no se crea ni se destruye, solo se transforma. (aprendemostecnologia.org, 2017).

La energía eléctrica es la forma de energía más empleada debido a su gran capacidad de transformarse en otras formas de energía, el transporte a largas distancias es sencillo y las pérdidas son relativamente bajas.

La corriente eléctrica se la define como el flujo de electrones a través de un material conductor, existen dos tipos de corriente eléctrica continua y alterna.

Energía no renovable se obtiene de la afectación al medio ambiente y al recurso que se utilice para la generación de la misma, estos recursos tardan varios años en regenerarse (Josep Puig, 1990). Este tipo de energía es obtenida a través de un recurso natural que a diferencia con la energía renovable dicho recurso no es aprovechado nuevamente y son obtenidas de fuentes que tienen un largo tiempo en renovarse por lo tanto son limitadas.

La energía renovable es una manera de energía compatible con el medio ambiente ya que es producida a través de un recurso natural y no incide al mismo recurso. Siendo una de las energías más aconsejables por su menor impacto ambiental (Viloria, 2013; unesa, s.f.). Los progresos tecnológicos que ha alcanzado la humanidad hasta el día de hoy, han permitido producir por diversos métodos una energía libre de contaminación.

La energía hidráulica utiliza el recurso natural con mayor presencia en el planeta como lo es el agua de los ríos, por tanto, es renovable y una energía limpia. “Las centrales hidroeléctricas son definidas como centros en los cuales se persigue utilizar la energía contenida en una masa de agua ubicada a una cierta altura, transformándola en energía eléctrica.” (ESHA, 1998).

Esta metodología consiste en aprovechar el caudal del río o salto de agua, posicionando una rueda hidráulica de tipo horizontal o vertical, el movimiento de esta rueda era transmitido a un sistema que dependiendo de su función, movilizaba las esferas que realizaban el trabajo de triturar, en el caso de la molienda los granos y en el caso de las fundiciones movía un martillo para la forja de metales, esta rueda hidráulica dio origen a los que en la actualidad son avances tecnológicos conocidos como las turbinas utilizadas en las centrales hidroeléctricas (Domínguez, 2013). El funcionamiento de las hidroeléctricas depende de la posición de la represa, deben ser un área en la que descarguen varios ríos y que las precipitaciones sean constantes, para asegurar un buen nivel en la represa y que la generación sea la esperada.

Las turbinas Francis fueron diseñadas en el año 1848 por James Francis, su característica es parecida a un caracol para garantizar la velocidad del flujo, que sea continua en cada parte de la turbina, posee un pre distribuidor compuesto por álabes fijos que garantizan la estructura de la caja y proporciona rigidez transversal, ayudan con las pérdidas hidráulicas, en este sentido su distribuidor se asegura de direccionar el flujo al rodete y regular el caudal para de esta forma poder modificar la potencia de la turbina, el rodete es encargado del movimiento y es aquí donde se realiza la transformación de la energía potencial, la presión y energía potencial que al hacer mover la turbina ésta hace girar el alternador y se genera energía eléctrica. Las ventajas de esta clase de turbinas permiten reducir pérdidas hidráulicas por su diseño, promueven alta velocidad de giro. Las desventajas de este tipo de turbinas son la baja resistencia de presión en los sellos, por lo cual no es recomendado utilizarla en alturas superiores a 800 metros, adicional se debe verificar la cavitación.

Las Turbinas Kaplan fueron diseñadas por Viktor Kaplan y son de clase regulable, tanto los alabes del rodete, como los distribuidores, aunque se dice que cuando el distribuidor no es regulable la turbina es semi-kaplan. Son turbinas de admisión axial o radial. Se usan este tipo de turbinas en saltos pequeños, pero con un prominentes caudales.

En este sentido las Turbinas Pelton fueron diseñadas por Lester Allan Pelton y son las turbinas más eficientes empleadas en las hidroeléctricas. Su operación está centrada en la combinación de presión, volumen y velocidad del fluido dependiendo de la capacidad de la turbina y el generador a usar, el ingreso del fluido es conducido hacia la turbina por una tobera directamente a las paletas en dirección tangencial, golpeando el borde de la turbina, su descarga es por el otro sentido del que ingresa, de este modo se utiliza mejor la energía del agua. Existen varias turbinas Pelton pequeñas utilizadas para la producción de energía eléctrica para fin doméstico. El chorro es regulable donde posee una válvula de aguja, el chorro contiene una mezcla de agua y aire para asegurar una buena regulación, la variación se lleva a cabo mediante estrangulación de la sección de salida del inyector y esta puede ser en forma automatizada o mecánica manual.

La rueda hidráulica en tiempos antiguos su desarrollo fue usado en norias que son máquinas muy antiguas con la finalidad de elevar agua, el inventor de la rueda hidráulica es desconocido, pero su invención se produjo en la época del imperio romano y dejó de ser utilizada a mediados del siglo XX. Su desarrollo fue analizado como un instrumento para el aprovechamiento del agua de los ríos como fuente de 33 energía, transformando la energía mecánica útil para el funcionamiento de diferentes máquinas que propician procesos como los de trituración en el caso del cereal para hacer harina, el forjamiento de metales en las fundiciones, la fabricación de papel, pólvora, aceite, la trituración de la caña de azúcar en los trapiches, entre los principales.

Con la evolución de la rueda hidráulica y de más ingenios fueron surgiendo nuevas ideas y numerosos textos con aportes para la mejora de estos inventos, los aportes mayoritarios se direccionan siempre a la rueda hidráulica. El análisis de la rueda hidráulica toca conocimientos en mecánica, energía hidráulica y cinemática de máquinas. Estas ruedas se clasifican de diversas formas: Estas ruedas pueden ser de cajones o de paletas, y su clasificación según la admisión del agua y de eje horizontal son las siguientes:

- Admisión superior. La característica principal de estas ruedas es que son de eje horizontal y están constituidas por cajones los cuales se llenan de agua y por la fuerza del agua y de la gravedad provocan el giro de la rueda. (Gironi, 2009)

- Admisión intermedia. Son denominadas ruedas hidráulicas de costado, el agua ingresa a ellas al mismo nivel del eje, esta rueda también trabaja gracias a la energía cinética del agua y la energía gravitacional. (Gironi, 2009)
- Admisión inferior. Este tipo de rueda aprovechan el choque del agua que pasa por debajo de la rueda, el canal debe de ser un poco más grande que la rueda, pero solo lo suficiente para no tener muchas pérdidas, los álabes de esta rueda pueden ser curvos o planos. El agua puede pasar a la rueda por medio de compuertas. En la Figura 1 se puede evidenciar la curva de Poncelet, donde “Para describir la curvatura de Poncelet, la circunferencia externa c Girona y la línea α r el radio de la rueda, se toma a $b = 1/3$ a $1/4$ de la caída, y se grafica el centro de la circunferencia de la envoltura, así el ángulo formado por e a r podría ser de 24° a 28° . Tomando a e , f g , y de los puntos a $f = 1/6$, se gráfica, desde este punto se hace un círculo desde a hasta el centro de la segunda circunferencia así se describe la curvatura de los álabes” la curvatura a la que se refiere es a la curvatura de los álabes (BART, 1871).

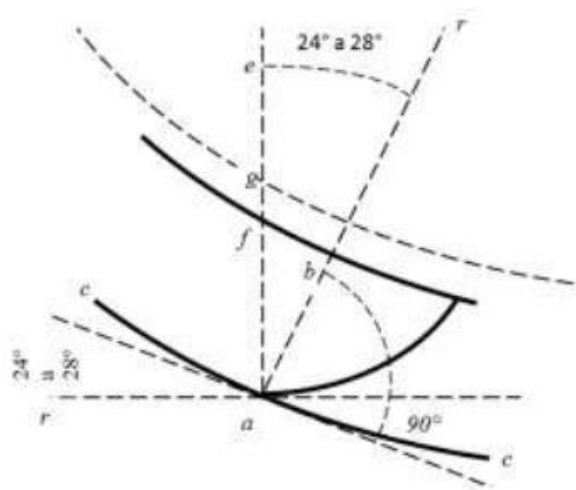


Fig. 1 Curvatura de Poncelet

Materiales y métodos.

En este orden de ideas el tipo de metodología utilizada para el desarrollo de este estudio es explicativo, puesto que se detalla la funcionalidad de una mini central de producción eléctrica en canal abierto usando la rueda hidráulica de una manera sencilla de entender, con la finalidad de aportar a la población mundial para que se pueda hacer uso de este estudio para aprovechar las

ideas y poder implementarlo o mejorarlo donde se busca como hipótesis del estudio La generación de energía hidroeléctrica mediante el aprovechamiento de recursos naturales renovables, son un aporte importante para la disputa contra la contaminación del medio ambiente y al aprovechar el caudal de un río sin necesidad de represarlos para producir electricidad, se contribuye positivamente a la reducción de la contaminación.

En este sentido el alcance a desarrollarse en la investigación recae en los siguientes aspectos fundamentalmente:

- Implementación de la mini central de generación en canal abierto mediante la rueda hidráulica de tal manera que se pueda comprobar los datos recolectados en este tema de titulación.
- Beneficiar a personas que no poseen energía eléctrica debido a que se encuentran en zonas donde los tendidos eléctricos no llegan.
- Aportar a la reducción de la contaminación del medio ambiente

Normativa legal para el desarrollo de mini centrales de energía renovable en Ecuador.

Este aspecto se hace mención a los artículos que sustentan las bases de este estudio refiriéndose a el artículo 14 de la Constitución de la República del Ecuador donde reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, el Sumak Kawsay y declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

En este sentido el artículo 15 de la Constitución de la República del Ecuador, señala que corresponde al Estado promover, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto, así como que la soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua.

además, el artículo 413 de la Constitución de la República del Ecuador establece que el Estado debe promover la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto. Que, el incremento de la demanda de energía eléctrica como resultado del crecimiento de la población y de la economía, constituye no sólo un gran desafío, sino exige la utilización de nuevas

fuentes de abastecimiento de energía y conductas de consumo público y ciudadano, acordes con la magnitud del desafío. Que, resulta imperativo construir una matriz de generación eléctrica económica y ecológicamente equilibrada, incrementando la participación de las energías limpias y renovables como la eólica, biomasa, biogás, fotovoltaica, geotérmica, mareomotriz e hidroeléctrica, disminuyendo la generación térmica ineficiente que utiliza combustibles fósiles.

Además, según la Ley orgánica del servicio público de energía eléctrica: Art. 6.- Normas complementarias. - Son aplicables en materia eléctrica las leyes que regulan el uso y aprovechamiento de los recursos naturales, la participación ciudadana, la protección del ambiente y otras de la legislación positiva ecuatoriana aplicable al sector eléctrico, en lo que no esté expresamente regulado en la presente ley.

El ministerio de electricidad y energía renovable (MEER) Art. 12.- Atribuciones y deberes. - Son atribuciones y deberes del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable en materia eléctrica, energía renovable y eficiencia energética en el numeral nueve nos dice que son encargados de impulsar la investigación científica y tecnológica en materia de electricidad, energía renovable y eficiencia energética.

En lo que concierne a la participación empresarial en el artículo 25 nos dice que: De las empresas privadas y de economía popular y solidaria. - El Estado, por intermedio del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, podrá delegar, de forma excepcional, a empresas de capital privado, así como a empresas de economía popular y solidaria, la participación en las actividades del sector eléctrico, en cualquiera de los siguientes casos:

1. Cuando sea necesario para satisfacer el interés público, colectivo o general;
2. Cuando la demanda del servicio no pueda ser cubierta por empresas públicas o mixtas; o,
3. Cuando se trate de proyectos que utilicen energías renovables no convencionales que no consten en el Plan Maestro de Electricidad;

Para los dos primeros casos, la delegación de los proyectos, que deben constar en el PME, se efectuará mediante un proceso público de selección, conducido por el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, que permita escoger la empresa que desarrolle el proyecto en las condiciones más favorables a los intereses nacionales. Para el tercer caso, el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable podrá delegar su desarrollo, previo el cumplimiento de los requisitos establecidos en la normativa pertinente. Los proyectos que utilicen energías renovables, podrán acceder a un esquema de incentivos que se determine en la normativa jurídica respectiva. Las

empresas privadas o de economía popular y solidaria que se mencionan en este artículo deberán estar establecidas en el Ecuador, de conformidad con la normativa correspondiente. Se exceptúa de los procesos públicos de selección, mencionados en este capítulo, el otorgamiento de concesiones, que, conforme a este artículo, efectúe el Estado por intermedio del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, respecto de proyectos que dispusiese, mediante delegación a empresas estatales extranjeras o subsidiarias de estas, compañías de economía mixta o a consorcios en que dichas empresas estatales tengan participación mayoritaria.

En todo caso, los contratos de concesión, estarán sujetos a la observancia de las normas de la Constitución de la República, esta ley, su reglamento general y los acuerdos previos a su otorgamiento directo. Art. 26.- Energías renovables no convencionales. - El Ministerio de Electricidad y Energía Renovable promoverá el uso de tecnologías limpias y energías alternativas, de conformidad con lo señalado en la Constitución que propone desarrollar un sistema eléctrico sostenible, sustentado en el aprovechamiento de los recursos renovables de energía. La electricidad producida con este tipo de energías contará con condiciones preferentes establecidas mediante regulación expedida por el ARCONEL.

Resultados de los cálculos y Análisis.

Estudio hidrológico en el río Chone/carrizal

La cuenca del río Chone tiene una superficie de 2267 km² el cual, se origina en las montañas de la división con el río Daule a 435 msnm y fluye hacia el oeste a través de zonas onduladas, Después de transitar dichas áreas montañosas, el cauce Río Chone se expande en una amplia llanura Aluvial, recibiendo los aportes de diversos afluentes tales como de los ríos Mosquitos, garrapata entre los más importantes. El curso principal antes de su unión con el río el mosquito asume el nombre de río grande. Hacia aguas abajo continua su camino hacia el este, con un patrón meandriforme, atraviesa el área urbana de la ciudad de Chone y luego se une con su tributario principal, el río carrizal en un punto situado a 32 km aguas arriba de su desembocadura en el estuario en la ciudad de Bahía de Caráquez, descargando finalmente en el océano pacífico. En área del estuario tiene una extensión aproximada de 32 Km² y una longitud desarrollada de 16 km, en donde se nota una actividad intensa de siembra de camarón. En la Figura 2 se muestra la figura del hidrograma de crecida el cual está enmarcado en el funcionamiento hídrico de la cuenca del río chone y grande de la provincia de Manabí Ecuador.

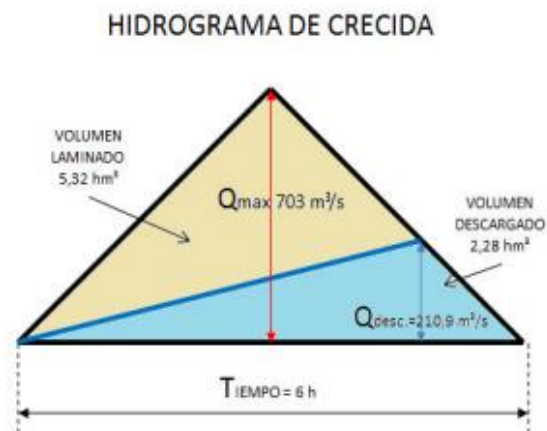


Fig. 2 Hidrograma de crecida Sandoval y Aguilera 2014

En función de la práctica de la ingeniería, el gasto de diseño de las obras de derivación para la construcción de una presa, es el que corresponde a un período de retorno de 50 años que, en el caso del diseño de la Presa Río Grande la estructura hidráulica cercana al río Chone, se lo fijó en 45 m³/s. Ante un incremento tan significativo, como el que se observa al comparar los datos del diseño de la presa y el que se presentó el 4 de marzo de 2013, durante el período de construcción, surge la necesidad de evaluar el período de retorno de esta crecida extraordinaria, como un elemento útil para verificar los caudales de diseño y su relación con la seguridad de esta importante obra, entre estos se aplicaron diversos métodos los cuales proporcionaron información necesaria para el cálculo de gasto de diseño

Métodos Empíricos

En los estudios y parámetros de los teóricos tabulados, se encuentran algunas fórmulas, desarrolladas por varios autores para cuencas particulares, que se procura aplicarlas en otras, en las que no se dispone de información hidrológica. A continuación, en la figura 3, se presentan algunas de ellas, citadas por Pérez y Rodríguez [12] con su aplicación al presente caso de estudio:

Morgan,	$Q_{Tr} = (4 + lg T_r)\sqrt{A} = 87,93 \text{ m}^3/s$
Bransky-Williams,	$Q = 79,418A^{0,52} = 1103,8 \text{ m}^3/s$
A -s/n,	$Q = 150\sqrt{A} = 1884,3 = \frac{\text{m}^3}{s}$
B -s/n,	$Q = 200A^{0,4} = 1514,5 = \frac{\text{m}^3}{s}$
Ryves,	$Q = 10,106A^{0,67} = 300,1 = \frac{\text{m}^3}{s}$
Scimemi,	$Q = \left(\frac{600}{A+10} + 1\right)A = 722,0 = \frac{\text{m}^3}{s}$
Grandotti,	$Q = \left(2,35\frac{500}{A+125} + 0,5\right)A = 734,5 = \frac{\text{m}^3}{s}$
Forti,	$Q = \left(\frac{600}{A+10} + 1\right)A = 722,0 = \frac{\text{m}^3}{s}$
Kuchiling,	$Q = \left(\frac{3596,24}{A+958,296} + 0,081\right)A = 521,4 = \frac{\text{m}^3}{s}$

Fig. 3 Ecuaciones auxiliares de gasto de diseño en función de diversos autores

Entre éstas también se incluye la ecuación desarrollada en el INERHI, citada por Krochin, en la que K depende del período de retorno (para $T_r=1000$ años, $K=1$).

$$Q_{Tr} = 25K \frac{A}{\sqrt{A + 57}} = 269,2 \text{ m}^3/s$$

Fig. 4 Ecuación de Caudal en función de tiempo de retorno INEHI.

La cantidad de ecuaciones propuestas por los diversos autores es amplia, pero, como se visualiza, estas ecuaciones muestran datos diferentes, que tienden a potenciar la incógnita en relación al establecimiento de los gastos de diseño del proyecto.

Métodos semi-empíricos.

Son modelos que se soportan en observaciones prácticas como, por ejemplo, las huellas dejadas por los grandes eventos históricos, o la información recabada de los pobladores de una determinada área llegó a la cota 32 msnm que, a partir de aproximaciones realizadas por los autores corresponde a un caudal $Q= 695,1 \text{ m}^3 /s$. Con base en un análisis expost de la crecida del 4 de marzo de 2013, realizado en la sección de cierre de la presa del rio grande/Chone puesto que la misma está

enmarcada en uno de los eventos hidrológicos más importante en los últimos tiempos y brindar mejor información para el cálculo del caudal de diseño ideal donde, los mismos evaluaron un caudal de crecida $Q=703 \text{ m}^3/\text{s}$. Para áreas en las que aguas abajo existen edificaciones y cultivos, como es el caso en análisis, la SEGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación de México) aconseja considerar que los caudales históricos representan el 50% del caudal máximo, a partir de lo cual se tendría que:

$QM=1390,2 \text{ m}^3/\text{s}$ para la cota 32 en la Caída y $QM=1406 \text{ m}^3/\text{s}$ para la crecida del 4 de marzo.

Ambos valores presentan un buen grado de similitud, al tratarse de una evaluación preliminar como la que se ha realizado. Ante la falta de información específica, los datos suministrados de las cuencas próximas constituyen una buena referencia para la estimación de caudales. Para el presente caso se dispone de un informe, elaborado por Moncayo, que determina el caudal máximo del Río Jama $Max= 3847 \text{ m}^3/\text{s}$, con un área de la cuenca $A= 1094 \text{ km}^2$. A partir de este dato se instauró el valor de la constante de la Envolvente de Creaguer en $C=66,52$ con lo que, el gasto máximo de la cuenca del Río Grande/chone sería; $1359 \text{ m}^3/\text{s}$

T Retorno (Años)	5	10	25	50	100	500	1000	5000	10000
Q Río Jamal	246,5	355,6	513,4	595,4	730,0	986,7	1231,3	1558,4	1703,3
Q Río Chone/Grande	207,0	298,6	431,2	500,0	613,1	828,6	1034,1	1308,8	1430,4

Tabla 1 Caudales para río Yesca (Jama) y Grande (Chone) Sandoval y Aguilera 2014

Para un valor estimando de un área $A=187,9 \text{ km}^2$, se conocen los caudales que aparecen en la Tabla 1, con los que se ha inferido los del Río Grande/Chone, a través de una simple relación de áreas. Se destaca que el caudal máximo para un período de retorno de 10.000 años es $QM=1430,4 \text{ m}^3/\text{s}$, bastante similar a los valores evaluados con los otros métodos antes descritos. Otra de las ecuaciones muy utilizada es la del Método Racional, que se fundamenta en la ecuación, $Q = kCIA$; En la que k depende de las unidades que se utilice para la Intensidad I y para el área A ; y C es el coeficiente de escorrentía, que depende de varios factores tales como; el tipo de suelo, la pendiente de escurrimiento, el tiempo de concentración y otros. La intensidad de la lluvia guarda relación con las precipitaciones en la cuenca, sobre las cuales existen datos estimados por el INAMHI, insertos en el Estudio Hidrológico de Inundaciones en la Cuenca Alta del Río Chone, de Gutiérrez, Góngora

y Melo, que es bastante completo y actualizado porque cubre un periodo de 42 años (1964-2005), en el que se incluyen varios fenómenos El Niño, Tabla 2 de precipitaciones medias anuales que están estimadas por las ecuaciones conocidas

METODOS	UNIDADES EN mm
Media Aritmética	1689,5
Thiessen	1297,1
1/DISTANCIA²	1310,4
Kriging	1308,9

Tabla 2. Precipitaciones Medias Anuales Gutiérrez, Góngora, Melo

Considerando que, para transformar los datos de precipitaciones en intensidades de lluvia se necesita conocer de registros pluviográficos, no disponibles en la cuenca del Río Grande/Chone, es indispensable apelar a técnicas empíricas orientados a suplir esta deficiencia de información. La ecuación de Gorbachov permite evaluar la intensidad instantánea I_i , que corresponde a la intensidad de la lluvia en la unidad de tiempo. Donde se obtiene a través de la ecuación $I_i = 0,046 * \sqrt[3]{H^2 T}$ Donde, H es la columna de precipitaciones media anual, en mm (en el presente caso $H=1309$ mm), y T el tiempo de recurrencia, en años, en la tabla 3 se aprecian los resultados de las intensidades de lluvia de los tiempos de retorno para diversos periodos de tiempo.

T retorno	5	10	25	50	100	500	1000	5000	10000
I. instantá	9.4	11.9	16.1	20.3	25.5	43.7	55.0	94.0	118.5
I.	0.58	0.74	1.00	1.26	1.58	2.71	3.41	5.83	7.35
mm/min									
I. mm/h	4.52	5.70	7.73	9.74	12.27	20.98	26.43	45.20	56.94
P. 24 h	138.7	155.7	186.1	207.5	229.8	278.6	299.9	349.5	370.9

Tabla 3. Intensidades para diferentes tiempos de retorno. Gutiérrez, Góngora, Melo 2008

Diseño del canal por el cual se transporta el caudal del río

Para el cálculo del punto óptimo donde se llevará a cabo el estudio se debe tener en consideración que el río debe tener un buen caudal para garantizar la producción de energía, otras características para la construcción del canal donde será montada la rueda hidráulica de eje horizontal con el paso

de agua por debajo, es que la forma del canal depende de la forma de la rueda y en este caso es un canal rectangular, para la construcción del canal se debe tomar en cuenta que la rueda debe tener una mínima distancia de separación con el canal, para de esta manera aprovechar el flujo y la rueda no roce por los lados ni por debajo, aunque esto representa una mínima pérdida. La construcción del canal deberá ser de cemento pulido debido a que el coeficiente de pérdida es mínimo y todos estos factores influyen en los cálculos para encontrar la velocidad y la pendiente según las fórmulas que se emplean. No se diseñará ningún tipo de vertedero, compuertas o muros de captación con rejillas para evitar el paso de maleza ya que la gran dimensión de los alabes de la rueda no dejan que los residuos de basura, troncos, etc. ocasionen algún daño.

El final del canal en el sentido del caudal del río deberá ser diseñado con dimensiones mayores en el sentido horizontal, de esta forma asegurar que el agua que ya fue aprovechada por la rueda tenga una pronta salida, esto es motivado a que el agua choca con los álabes y se reduce su velocidad y el agua tiene que tener una rápida salida, el diseño del canal a la salida del agua, va a apoyar para que el agua no se represe y el sistema no aminore su velocidad. Para conocer la rapidez admisible del canal se tiene en consideración que no se puede superar los límites ya que se perdería altura y tampoco se puede disminuir la velocidad porque esto nos llevaría a tener un canal muy ancho y eso no es lo que buscamos ya que la rueda no debe de ser tan ancha. Los datos del canal; Largo del canal será de 13 metros. Profundidad de 3.5 metros. Ancho sección A2 de 4 metros (desde el inicio hasta los 11 metros). Ancho sección A1 de 5 metros (a partir de los 11 metros).

Selección del tipo de rueda hidráulica

El tipo de rueda hidráulica a usarse deberá ser de eje horizontal, denominada rueda de Poncelet debido a que estas son de admisión inferior y son las propicias para el desarrollo de este sistema de generación eléctrica, en la figura 5 se evidencia los tipos de ruedas hidráulicas posibles a utilizarse y sus formas de colocación en el cauce del curso de agua.

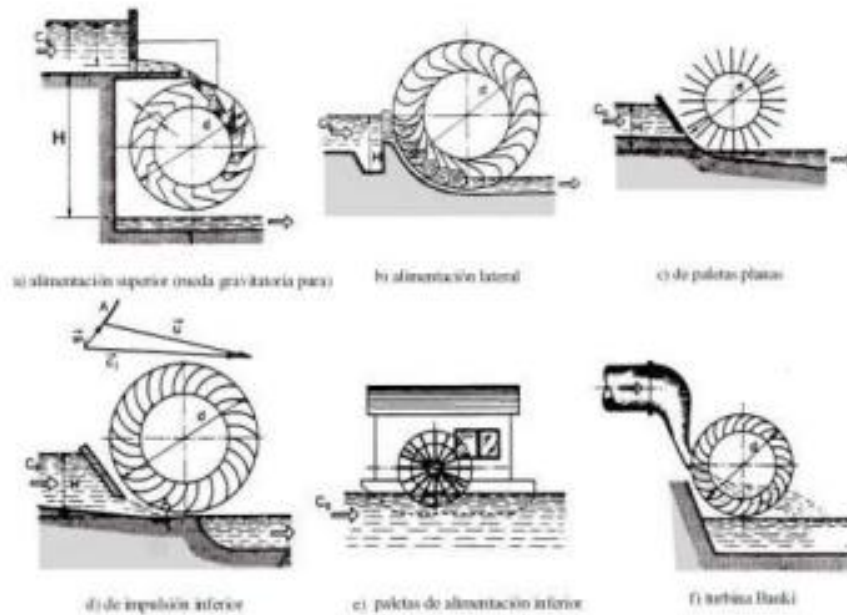


Figura 5 Tipos de Ruedas Hidráulicas

Especificaciones de la rueda

El eje es horizontal, sobre el cual se sujeta a la rueda mediante radios. La rueda a lo largo de la circunferencia lleva en intervalos unas paletas las cuales deben estar ubicadas en sentido opuesto al flujo del agua. La ubicación de esta clase de rueda por lo general se ubica en ríos caudalosos para asegurar un buen aprovechamiento del movimiento de la rueda. La rueda oscila entre los 5,36 y 9,05 metros de diámetro, las aspas o álaves entre 1,70 y 3,84 metros de anchura y 2,80 y 3,36 metros de largo. El tipo de paletas es curvo. Utilizan $1/3$ de la potencia del agua que las mueve. Su construcción es sencilla y pueden funcionar a altas velocidades.

Funcionamiento de la rueda

Los álaves o paletas de la rueda ingresan al agua, la velocidad del agua del río se transmite a la rueda de tal manera que produce el movimiento giratorio, la orientación de los alaves es tangente al centro de la rueda para fijar que ingresen al río sin choque y sean más eficientes. Es recomendable que la instalación de la misma se haga en un canal donde la rueda se encuentre paralela a las paredes del canal, para de esta manera impedir el paso de agua fuera de la rueda y tener un aprovechamiento máximo del caudal del río

Teoría de la rueda de Poncelet

En este sentido el agua entra a la rueda y golpea las paletas sin choque debido a la forma de las paletas que son curvas y esto asegura que las paletas ingresen al río sin choque, disminuyendo pérdidas. Partiendo del principio deducido de la ecuación general, para obtener el efecto máximo absoluto de efecto útil, el agua debe ingresar en los álabes sin choque y salir de ellos a la misma velocidad que la rueda. Ecuación general que expresa el trabajo total de una rueda hidráulica.

$$1/2 MV^2 + Mgh = Pv + 1/2 MV^2 + 1/2 MW^2$$

Donde;

$$Pv = 1/2 MV^2 + Mgh - 1/2 MU^2 - 1/2 MW^2$$

De donde se visualiza que Pv : Potencia en kw; $1/2$: 50% de eficiencia; V : Velocidad del agua; v : Velocidad de la rueda; M : Masa de agua/segundo que pasa por el canal.

Selección de la transmisión mecánica y multiplicador

Por corresponder a un estudio de producción de energía mediante el aprovechamiento del caudal de un río chone se va a tener la desventaja de que no se tendrá una gran velocidad para el giro de la rueda. Tomando en cuenta que la velocidad en el río que se eligió como en cualquier otro río no es favorable, pero el caudal juega a favor ya que se aprovecharía que es un río con abundante agua y de esta manera podrá mover una rueda con un gran diámetro. Al elegir una rueda con un gran diámetro estamos hablando que nuestra rueda tendrá un peso considerable y podremos aprovechar este peso para asegurar de tener un buen sistema de transmisión ya que se cuenta con un buen torque para la producción de energía hidroeléctrica y beneficiar a la población cercana que puede aprovechar el recurso renovable.

Conclusiones

Luego de analizar los resultados obtenidos de las ecuaciones de diseño aplicada, así como de las estimaciones realizadas se puede llegar a concluir que este tipo de sistema de producción de energía hidroeléctrica aplicado en ríos con el uso de ruedas hidráulicas puede ser implementado por cualquier persona natural, grupo de comunidades o de pequeñas empresas para el suministro de energía eléctrica promoviendo el hecho de ser auto generadores de la energía que requieren.

El estudio demostró que más de beneficiar con energía eléctrica limpia ya que la misma procede de utilizar la energía que el río posee con su movimiento natural y no utiliza sistemas alternos de

consumo de energía fósil o de otro tipo para la producción de energía eléctrica, es un factor que protege además de beneficiar al medio ambiente ya que no se arrojan contaminantes en ninguna de las fases de la producción de energía, debido a que los alavés de la rueda hidráulica, lo que requieren es de la inserción del caudal y este hace la rotación o movimiento de la misma.

En esta investigación se conocen ecuaciones teóricas proporcionadas por diversos autores que estudian comportamientos similares en sistemas hídricos con características comunes y aplicadas en función de la disponibilidad de datos en la cuenca aportante y del río Chone, además de conocer de los diagramas de funcionamiento hídrico de los alabes así como de los momentos angulares tangenciales y modelos de funcionamiento de generación, orientaciones generales y procedimientos para la fabricación de la rueda hidráulica así como del canal de tipo rectangular establecido en el estudio necesarios para la generación de energía hidroeléctrica ya que en función de dichas características se establecerán los gastos del río que aportan la energía necesaria para la movilidad de la rueda hidráulica y esta pueda realizar el trabajo electro mecánico necesario para promover la producción de energía hidroeléctrica.

En el proceso de análisis del funcionamiento del sistema de rotación de la rueda hidráulica y del canal rectangular de este sistema de producción de energía hidroeléctrica a través de un sistema hidráulico en canal abierto se da por concluido que el río Chone de la provincia de Manabí si cumple con los parámetros para la aplicación de este sistema esto radica que el sistema se caracteriza por ser versátil y puede ser implementado en diversos cauces de río con la condición que posea un estiaje suficiente para la producción de energía potencial que se le imprima a la rueda como sistema de generación.

Estas alternativas de energía limpia o de bajo impacto al medio ambiente para la producción de energía eléctrica, donde se aprovechen los recursos naturales deberían ser promovidos y auspiciados por parte de las autoridades gubernamentales para que las personas, comunidades e industrias de pequeño o mediano tamaño, escojan por tener sus propios mecanismos de producción y se pueda contribuir a la lucha contra la contaminación del medio ambiente.

Este estudio está enfocado de forma exclusiva a la producción de energía eléctrica, pero el sistema de rueda hidráulico también tiene aplicaciones para el traslado de agua hacia lugares lejanos del mismo río, esto de forma mecánica en diversas fases o etapas buscando establecer acciones que favorezcan el desarrollo sustentable en zonas más apartadas.

Existe la probabilidad que la carga a suplir por la rueda hidráulica aumente con el transcurrir del tiempo, refiriéndose a que su uso sea residencial o comercial, en este caso se puede instalar una rueda adicional en el mismo canal para incrementar la posibilidad de producción de energía, en ese caso sería lo más conveniente y si se da el caso de que el consumo sea mayor si las posibilidades del río lo permite establecer otro sistema de generación adicional de la misma manera que el diseñado inicialmente para suplir dicha demanda.

Referencias

1. Aguirre, C., González, E. y Guerrero, H. (2015). Elaboración y aplicación de metodologías analíticas e instrumentales para la cuantificación de parámetros fisicoquímicos en agua y su aplicación en el laboratorio de Ingeniería Química, FIA/UES. Universidad de El Salvador.
2. Amaya, Á. (2015). Evaluación hidrogeoquímica e hidroquímica de la subcuenca del Río Arranchacal. Universidad de El Salvador, San Salvador.
3. Amaya, L., Arriola, D. y Cerna, Z. (2015). Modelación de la calidad fisicoquímica de las aguas del Río Suquiapa. Universidad de El Salvador, San Salvador.
4. APHA. (1992). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (18.a ed.). Washington, D. C.: American Public Health Association.
5. Barragán, B., Cristiani, E., Netzahuatl, A. y Pineda, G. (2010). Remoción de cromo hexavalente y cromo total por la corteza de *Pyrus communis*. CENIC, 41, 1-10.
6. Bedoya, J. (2007). Modelo de simulación de transporte de metales pesados en la cuenca baja del Río Tunjuelo. Universidad de La Salle, Bogotá D.C.
7. Blarasin, A., Cabrera, A., Damilano, G., Giuliano, A. y Matteoda, E. (2009). Cromo en aguas subterráneas y superficiales en el entorno de una curtiembre, relación con valores de fondo natural. Elena, Córdoba. Argentina.
8. Caho, C. y López, E. (2017). Determinación del Índice de Calidad de Agua para el sector occidental del humedal Torca-Guaymaral empleando las metodologías UWQI y CWQI. <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v12n2/1909-0455-pml-12-02-00035.pdf>
9. Cobos, L. (2019). Evaluación de calidad de agua en el punto de captación de agua potable del río Lelía - cantón Santo Domingo. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16709/1/UPS-ST003890.pdf>

10. Carrascal A., Matiz A., Pedroza A., Rojas N., Salcedo J. y Sánchez A. (2010). Evaluación de tres métodos para la inactivación de coliformes y *Escherichia coli* presentes en agua residual doméstica, empleada para riego.
11. Cuberos, E., Prieto, E. y Rodríguez, A. (2009). Niveles de Cromo y Alteraciones de salud en una población expuesta a las actividades de curtiembres en Bogotá, Colombia. *Revista de Salud Pública*.
12. Cubillos, J. (2013). Transporte de contaminantes en sistemas fluviales y evaluación de la aplicabilidad del modelo WASP en las cuencas de los ríos Elqui y Choapa, Región de Coquimbo, Chile. Universidad de La Serena, Chile.163
13. DES. (2003). Fecal Coliform as an Indicator Organism. Department of Environmental Services.
14. Dygestic. (2008). Densidad Poblacional. Dirección General de Estadísticas y Censos.
15. Eliggi, M., Gilli, M., Lermann, B. y Zerbato, M. (2007). Oxígeno disuelto.
16. Espinoza, R., Vinicio, A. y Zavaleta, R. (2013). Caracterización hidrodinámica y dispersión de contaminantes de la parte alta del Río Suquiapa, Santa Ana.
17. FAO. (2006). Mejora de la calidad de agua en los estanques. Food and Agriculture Organization. Obtenido de ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_training/FAO_training/general/x6709s/x6709s02.htm
18. Fuentes, F. y Massol, A. (2002). Manual de laboratorios: Ecología de microorganismos.
19. Fernández, A. (2012). El agua: un recurso esencial. *Química Viva* E-ISSN: 1666-7948. <https://www.redalyc.org/pdf/863/86325090002.pdf>
20. Gonzáles, R. (2018). Evaluación de la calidad del agua para consumo humano en el asentamiento humano señor de los milagros, distrito de yarinacocha- region ucayali- 2018. <http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/3845/000003406T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
21. Google Maps, 2021. Rio Chone. <https://www.google.com/maps/place/R%C3%ADo+Chone/@-0.6499751,0.2716768,31959m/data=!3m1!1e3!4m6!3m5!1s0x902badbec872f89b:0x1840c2f83d06ce23!8m2!3d-0.6645635!4d-0.2740097!16s%2Fm%2F07k9c5d!5m1!1e4?hl=es>

22. Hernán, C., Patiño, P. y Torres, P. (2009). Índices de calidad del agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8, 79-94.
23. Hernández, W. y Rivas, J. (2013). Verificación preliminar de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua cruda y tratada de la planta de tratamiento ubicada en la Ciudad de Suchitoto. Universidad de El Salvador, San Salvador.
24. Román, F. (2015). Contaminación de las aguas y efectos en la salud en una región llamada Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador. Mikarimin. *Revista Científica Multidisciplinaria*. ISSN 2528 – 7842. <https://docplayer.es/43032894-Mikarimin-revista-cientifica-multidisciplinaria-issn.html>
25. Simbaña, K., Romero, D., Yáñez, G., Benavides, D. y Navarrete, H. (2019). Evaluación de la calidad del agua del río Pita (Ecuador), implicación para la conservación de la vida acuática y silvestre. <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/157/157776005/html/index.html>
26. Instituto Nacional de prevención. (09 de Agosto de 2013). Secretaría del Agua. Obtenido de Secretaría del agua: https://www.agua.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2014/04/EIAD-ZONA-REGABLE_opt.pdf
27. Bayeras, L. J. (2004). Energía geotérmica. Grupo planeta.
28. Origgi, L. F. (1983). Recursos naturales. EUNED.
29. JESÚS FERNÁNDEZ GONZÁLEZ, F. G. (2015). Tecnologías para el uso y transformación de biomasa energética. Ediciones Paraninfo, S.A.
30. ESHA. (1998). Manual de pequeña Hidráulica.
31. Claudio, M. (1986).
32. BART, F. (1871). Repositorio digital de la facultad de ingeniería- UNAM. (s.f.). Obtenido de
33. Repositorio digital de la facultad de ingeniería- UNAM: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/630/A4.pdf?sequence=4>
34. Mott, R. (2006). Diseño de elementos de máquinas.

35. Guía técnica para la evaluación y prevención del riesgo eléctrico. (2001). Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo.
36. Oleohidráulica VERION Soluciones Integrales. (1989). Obtenido de Oleohidráulica
37. VERION Soluciones Integrales:<http://www.verion.com.ar/images/productos/reductores/>
38. [cajasmultiplicadoras/cajas_multiplicadoras_para_bombas.pdf](#)
39. Sandoval y Aguilera (2014). Caudal de creída del Rio Grande (chone). IX congreso de ciencia y tecnología ESPE 2014.
40. Weg. (s.f.). Obtenido de Weg:
41. https://www.weg.net/catalog/weg/RS/es/Generaci%C3%B3n%20Transmisi%C3%B3n-yDistribuci%C3%B3n/Generadores/c/GLOBAL_GENERATORS
42. Kosow, I. L. (1977). Control de máquinas eléctricas. Revete.
43. Universidad Politécnica de Valencia. (1995). Obtenido de Universidad Politécnica de Valencia: <https://polipapers.upv.es/index.php/IA/article/view/2685/2670>
44. Victron Energy. (s.f.). www.victronenergy.com. Obtenido de <https://www.victronenergy.com/upload/documents/Datasheet-OPzS-batteriesES.pdf>
45. Ediclíma. (2018). ediclíma. Obtenido de ediclíma.com
46. UNESCO (2020). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos. Informe del 2020 - Agua y cambio climático. <https://es.unesco.org/themes/water-security/wwap/wwdr/2020>