



XIII SEMINARIO NACIONAL DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA. IBAGUÉ, 15 AL 17 DE AGOSTO DE 2018

DEFINICIÓN DE LAS CONDICIONES HIDROSEDIMENTOLÓGICAS QUE OPTIMICEN EL DESEMPEÑO DE UNA TURBINA HIDROKINÉTICA DE FLUJO AXIAL EN UN RÍO DE LLANURA TROPICAL

María C. Rojas¹, Jorge A. Escobar¹ y Andrés Vargas-Luna¹

¹Maestría en Hidrosistemas Pontificia Universidad Javeriana, Colombia

maria-rojasr@javeriana.edu.co, jorge-escobar@javeriana.edu.co, avargasl@javeriana.edu.co

RESUMEN:

Debido a que actualmente no existe un conocimiento claro de las formas de aprovechamiento de la energía cinética en los ríos de llanura tropical, este trabajo de investigación establece los parámetros de intervención de un cauce de planicie, con el fin de generar las condiciones hidrodinámicas adecuadas para optimizar el flujo de entrada a una turbina hidrocínética de flujo axial (MHK). Para el desarrollo de este trabajo se planificó una salida de campo y toma de datos en un río de planicie localizado en el Municipio de San José del Guaviare, específicamente en el Raudal del Río Guayabero; se obtuvieron datos de velocidad del flujo, batimetría y de transporte de sedimentos en el tramo de interés. Con el objetivo de evaluar el comportamiento del cauce propicio con el desempeño operacional de la turbina, se realizó una modelación de la hidrodinámica alrededor de ésta, y así analizar las reservas dinámicas y la carga anual de sedimentos en la zona; para esto se utilizaron los datos recolectados en campo y la herramienta computacional TELEMAT 2D. Con este proyecto se busca proponer una solución de energización local, eficiente y de este modo promover el uso de energías renovables.

ABSTRACT:

Because there is currently no clear knowledge of the ways in which kinetic energy is used in tropical plain rivers, this research project establishes the intervention parameters of a flat channel, in order to generate the appropriate hydrodynamic conditions for optimize the inflow to an axial flow hydrokinetic turbine (MHK). For the development of this work, a field trip and data collection was planned in a flat river located in the region of Guaviare - Colombia, specifically in the Guayabero River Raudal; flow velocity, bathymetry and sediment transport data were obtained in the section of interest. In order to evaluate the behavior of the favorable channel with the operational performance of the turbine, a modeling of the hydrodynamics was carried out around it, and thus to analyze the dynamic reserves and the annual sediment load in the area; Therefore, the data collected in the field and the TELEMAT 2D computational tool were used. The objective of this project is to propose a solution of local energization, efficient and in this way to promote the use of renewable energies.

PALABRAS CLAVE: Energía Renovable, turbina hidrocínética de flujo axial MHK, transporte de sedimentos, hidrodinámica fluvial, río tropical de llanura.

Mayor Información



INTRODUCCIÓN

Colombia es un país con un extenso territorio y con una gran densidad poblacional concentrada en las regiones donde no hay acceso directo a la red de distribución eléctrica, lo que constituye las denominadas zonas no interconectadas (ZNI) (Jaramillo et al., 2016). Gran parte de estas zonas están ubicadas en las regiones de planicie o llanura del territorio nacional, donde no se presenta ningún tipo de formación montañosa y donde existen muchos ríos con un gran potencial hidroenergético (Davies, 2014). Debido a que actualmente no existe un conocimiento claro de las formas de aprovechamiento de la energía cinética en los ríos de llanura tropical, (Mendoza et al., 2016), este trabajo de investigación propone una metodología para establecer los parámetros de intervención de un cauce de planicie, con el fin de generar las condiciones hidrodinámicas y de transporte de sedimentos adecuadas para optimizar el flujo de entrada a una turbina hidrocínética. En esta investigación se propuso el uso de la turbina hidrocínética de flujo axial (MHK) debido a que este tipo de turbina está diseñada a partir del principio que rige a los aerogeneradores (Chamorro & Porté-Agel, 2009), lo cual la hace más eficiente para captar la energía de los ríos de llanura.

Esta metodología está fundamentada en i) modelar la hidrodinámica propicia alrededor de la turbina, ii) analizar las reservas dinámicas y carga anual de sedimentos en la zona de estudio y iii) pronosticar el régimen de caudales posterior a la intervención. Para esto se realizará un análisis de la respuesta del sistema fluvial ante eventos hidrológicos, con técnicas de análisis hidrodinámico y sedimentológico, y el empleo de herramientas matemáticas y computacionales, específicamente con el uso de la modelación en TELEMAC 2D; además se buscará contribuir al desarrollo de técnicas de intervención que sean adecuadas para optimizar el flujo de entrada a la turbina, y de esta manera dar una solución de energización local y eficiente.

ZONA DE ESTUDIO

Para la realización de este proyecto se escogió la zona del Raudal del río Guayabero, el cual se encuentra ubicado en la frontera de los departamentos de Meta y Guaviare (Colombia), a 186 m.s.n.m; enmarcado entre los 2°34'45.47" Latitud Norte y 72°51'57.34" Latitud Oeste (Meridiano de Greenwich). El río Guayabero, se encuentra ubicado en medio de una formación rocosa precámbrica, la cual se le asigna a una secuencia de areniscas que aflora en la Serranía La Lindosa al suroeste de San José del Guaviare. El área de esta zona cubre una superficie de 301 km²; (Ver **Figura 1**). Se decidió estudiar el río Guayabero en la zona del raudal debido a sus características hidráulicas, ya que como se puede ver en la figura, tiene una característica particular, la cual es una contracción abrupta del cauce (pasando de 250 a 50 m aproximadamente), donde el río fluye a altas velocidades. Este tramo se extiende aproximadamente por 2.74 Km. Para el estudio de la hidrodinámica y el transporte de sedimentos se realizaron mediciones de velocidad, profundidad, caudal y se tomaron muestras de sedimentos en los puntos más relevantes del tramo de estudio (Ver **Figura 2**).

Mayor Información



Figura 1.-Formación Rocosa del Raudal. Fuente propia.

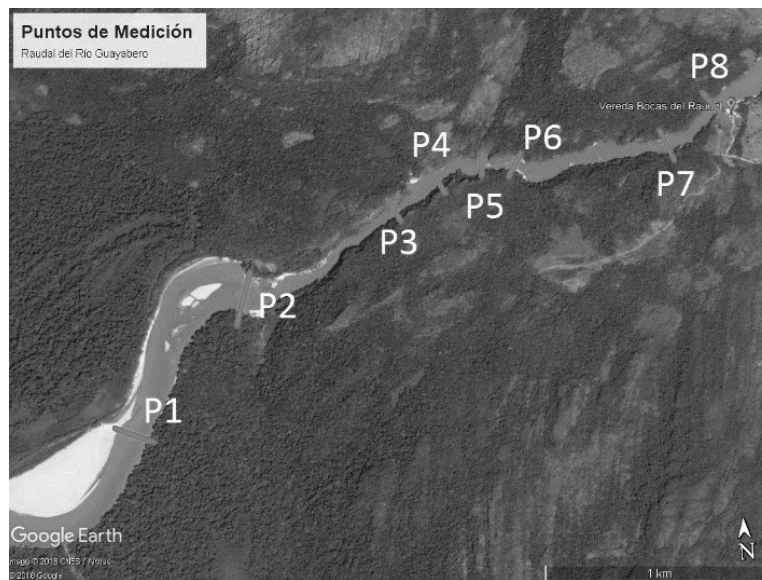


Figura 2.-Puntos de medición en campo. Velocidad y Caudal.
Fuente: Google, s. f.

Se realizó una campaña de mediciones en campo, en los puntos de interés que se ven en la **Figura 2.** (Ver **Tabla 1.**)

AFORO	Profundidad [m]	Ancho [m]	Q [m ³ /s]	V [m/s]
P1	4.6	174.88	516.49	1.996
P2	14.8	69.38	626.559	2.573
P3	18.44	34.91	633.316	2.078
P4	65.2	47.15	619.02	1.789
P5	60*	21.81	-	1.589

Tabla 1.-Resultados velocidades y profundidades Zona del Raudal

Mayor Información



P6	32.67	64.04	604.95	1.239
P7	26.46	79.19	566.85	1.049
P8	16.5	172.51	493.298	1.889

ECUACIONES DE GOBIERNO

Para el análisis de la hidrodinámica del Río Guayabero en la zona del Raudal, se estudiaron las características del flujo en cauces naturales propios de zonas de planicie, Como se propone el uso del software TELEMAT 2D, éste resuelve las ecuaciones de aguas someras o también llamadas ecuaciones de Saint Venant, utilizando el método de elementos finitos o de volumen finito y una malla de cálculo de elementos triangulares. Para este caso se tienen en cuenta diferentes factores cómo son la propagación de ondas, la fricción del lecho y los efectos no lineales. Se quiere resolver las ecuaciones de Navier-Stokes 2D, con suposición hidrostática, y escrito en la forma (Hervouet, 2000):

Continuidad:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \vec{U} \cdot \overrightarrow{\text{grad}}(h) + h \text{div}(\vec{U}) = S_h \quad [1]$$

Momentum:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \vec{U} \cdot \overrightarrow{\text{grad}}(U) = -g \frac{\partial Z}{\partial x} + S_x + \frac{1}{h} \text{div}(h v_t \overrightarrow{\text{grad}}(U)) \quad [2]$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \vec{U} \cdot \overrightarrow{\text{grad}}(V) = -g \frac{\partial Z}{\partial y} + S_y + \frac{1}{h} \text{div}(h v_t \overrightarrow{\text{grad}}(V)) \quad [3]$$

Donde:

h = Profundidad del agua

U, V = Componentes de la velocidad

g = Aceleración de la gravedad

Z = Elevación de la superficie libre

Sh = Fuentes o sumideros

Sx, Sy = Fuentes o sumideros, incluyendo la fuerza de Coriolis, la fricción en el fondo, la cizalladura del viento en la superficie.

Con la manipulación de estas relaciones se obtienen resultados suficientemente precisos en la modelación. A su vez, los resultados del modelo hidrodinámico (velocidades) fueron la base para considerar los efectos de turbulencia y el fundamento del modelo de transporte de sedimentos.

Por otra parte, para optimizar el flujo de entrada a la turbina hidrocínética, es necesario tener en cuenta la física de los aerogeneradores de eje horizontal, así como las curvas de rendimiento y curvas de potencia de la turbina, como se muestra en la siguiente curva de potencia de un aerogenerador. (Ver Figura 3).

Mayor Información

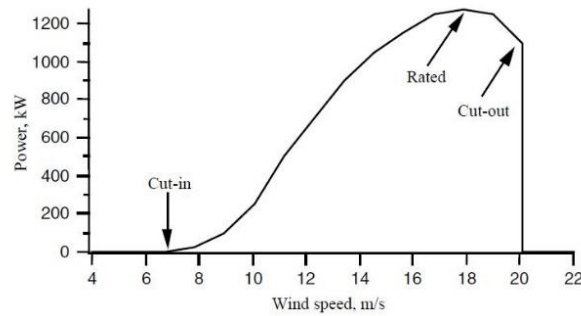


Figura 3.- Curva de potencia Aerogenerador (Burton et al., 2011)

Dentro de los parámetros que se consideran en el funcionamiento de la turbina, se incluyen los parámetros de operación y eficiencia del sistema de generación de energía de la turbina., potencia y Coeficiente de Potencia:

$$P = \frac{1}{2} \rho A C_p U^3 \quad [4]$$

$$C_p = \frac{P_{fluido\ util}}{P_{fluido}} = \frac{1}{2} \left(1 - \left(\frac{v_{out}}{v_{in}} \right)^2 \right) \left(1 + \left(\frac{v_{out}}{v_{in}} \right) \right) \quad [5]$$

Donde:

P = Potencia

C_p = Coeficiente de potencia

U = Velocidad del flujo

ρ = densidad del fluido

RESULTADOS

De la campaña de medición realizada en campo, se presentan en la **Tabla 1** los resultados más relevantes.

A partir de los resultados de la modelación realizada en TELEMAC 2D (Ver **Figura 4**), se pudieron identificar las zonas más apropiadas para el uso de la turbina, según la geometría, la velocidad y el arrastre de sedimentos en cada sección.

Mayor Información

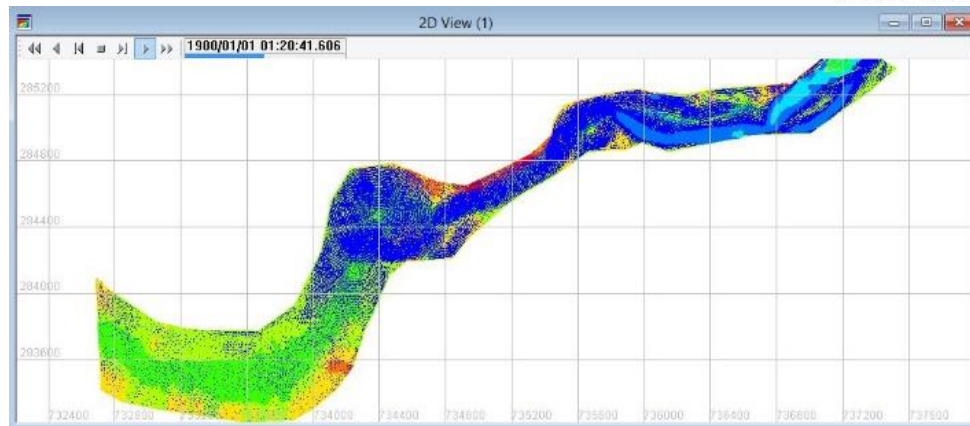


Figura 4.- Modelación velocidades. TELEMAC 2D. Fuente Propia

En efecto, a partir del perfil de velocidades y el transporte de sedimentos que presenta la modelación, se estudiaron configuraciones para definir la ubicación propicia de la turbina hidrocínética de flujo axial en la zona de estudio. Se propuso un diseño de turbina que fuera más adecuado para la geometría de la zona del Raudal.

Con estos resultados se espera obtener las curvas de desempeño que relacionan el comportamiento del cauce estudiado con el desempeño de la turbina (Curva de velocidad de la corriente vs. potencia mecánica obtenida) y la variación del coeficiente de potencia vs Velocidad del flujo.

CONCLUSIONES

De los análisis preliminares se recomienda la localización de la turbina en cercanías del punto P6. Una vez obtenidas las condiciones para un óptimo funcionamiento de la turbina, se realizará un análisis de los efectos de implementar la intervención propuesta en el cauce (a corto y a largo plazo) y se analizarán los efectos que el uso de la turbina hidrocínética de flujo axial generan en el cauce de interés. Finalmente se realizará el análisis de la evolución morfológica del cauce para diferentes periodos de retorno.

REFERENCIAS

- Burton, T., Jenkins, N., Sharpe, D., & Bossanyi, E.** (2011). *Wind energy handbook*. John Wiley & Sons.
- Chamorro, L. P., & Porté-Agel, F.** (2009). A Wind-Tunnel Investigation of Wind-Turbine Wakes: Boundary-Layer Turbulence Effects. *Boundary-Layer Meteorology*, 132(1), 129-149. <https://doi.org/10.1007/s10546-009-9380-8>
- Davies, T.** (2014). Geomorphic analysis of river systems: An approach to reading the landscape by Kirstie A. Fryirs and Gary J. Brierly, Wiley-Blackwell, Chichester, UK, 2012. 360 pp. ISBN 978-1-4051-9274-3. *New Zealand Geographer*, 70(1), 83-84.
- Google.** (s. f.). Recuperado 15 de junio de 2018, a partir de

<https://www.google.com.co/maps/place/Guaviare/@2.5630678,->

Mayor Información



Sociedad Colombiana
de Ingenieros



Sociedad Tolimense
de Ingenieros

**XXIII Seminario
Nacional
DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA**

72.8976118,14.25z/data=!4m5!3m4!1s0x8e10db65105949d7:0x6435922b4d8854c7!8m2!3d2
.043924!4d-72.331113

Hervouet, J. (2000). TELEMAC modelling system: an overview. *Hydrological processes*, 14(13), 2209-2210.

Jaramillo, J., Posada, J., & Manrique, P. (2016). Emulador de carga para recrear las curvas de consumo eléctrico diario en Zonas No Interconectadas de Colombia definidos en la metodología CREG-002 de 2014. *2016 IEEE Biennial Congress of Argentina (ARGENCON), Biennial Congress of Argentina (ARGENCON), 2016 IEEE*, 1.
<https://doi.org/10.1109/ARGENCON.2016.7585240>

Mendoza, C. A. S., Rojas, O. A. V., & Pineda, A. A. (2016). Cambio climático, balance hídrico y eficiencia energética en algunas estaciones climáticas en Colombia., 37 (N° 07).

Mayor Información

Comisión Técnica Permanente
de Ingeniería de Recursos Hídricos

57 (1) 5550520 logistica@sci.org.co