

## Estimación de energía de un parque hidrocínético: caso de estudio Bahía de Banes

Ing. José Alejandro Pérez Martínez e-mail: [josealejandrop7@yahoo.com](mailto:josealejandrop7@yahoo.com)  
Empresa de construcción y montaje de obras del Turismo. Varadero. Cuba

Ing. Elizenia Sánchez Valdés e-mail: [elizenia.sv@gmail.com](mailto:elizenia.sv@gmail.com)  
Ministerio de Energía y Minas. La Habana. Cuba.

Ing. Pablo Sánchez Yañez e-mail: [pablo@oc.une.cu](mailto:pablo@oc.une.cu)  
Ministerio de Energía y Minas. La Habana. Cuba.

Dr.C. Ariel Santos Fuentefría e-mail: [asfuentefria@electrica.cujae.edu.cu](mailto:asfuentefria@electrica.cujae.edu.cu)  
Univ. Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (CUJAE). La Habana. Cuba.

### RESUMEN

Debido al incremento de la demanda eléctrica a nivel mundial, los inestables precios del petróleo y la vulnerabilidad del medio ambiente por la emisión de gases de efecto invernadero, actualmente se investigan numerosas maneras de generar electricidad a través de fuentes alternativas de energía. Una de estas fuentes de generación alternativa son las turbinas hidrocínéticas. En esta investigación se analizan dichas turbinas, haciendo un análisis mediante la elaboración de un software que brinda, entre otros aspectos la información necesaria para hacer el estudio de cualquier recurso hidráulico del país, calculando la estimación de energía para las condiciones cubanas, teniendo en cuenta el lugar elegido, el tipo de turbina a emplear y sus características. Se analiza como caso de estudio para la posible instalación de turbinas hidrocínéticas la Bahía de Banes.

**Palabras clave:** estimación de energía, turbinas hidrocínéticas, recurso hidráulico.

## Energy estimation of a hydrokinetic farm: study case Bay of Banes

### ABSTRACT

Due to the increase in electricity demand worldwide, the unstable oil prices and the vulnerability of the environment for the greenhouse gases issued, numerous ways to generate electricity through alternative sources of energy are currently being investigated. One of these renewable sources of energy is the hydrokinetic turbines. In this investigation the hydrokinetic turbines are analyzed, making an analysis of different aspects by the elaboration of a software, which provides the necessary information to make the study in any water resource of the country, calculating the energy estimate for Cuba conditions, having into account the decide location, hydrokinetic turbine type and its characteristics. The study case for possible installation of hydrokinetic turbines is Banes bay.

**Keywords:** energy estimate, hydrokinetic turbines, water resource.

## INTRODUCCIÓN

El uso de las fuentes renovables de energía (FRE) se ha incrementado mundialmente como una fuente para la generación de electricidad, la participación estimada de estas en la generación mundial fue de más del 26% a finales de 2018, añadiéndose alrededor de 181 GW con respecto al año anterior. De la nueva capacidad instalada, la energía solar fotovoltaica fue la de mayor índice de instalación con el 55%, seguido de la energía eólica con un 28% y la energía hidroeléctrica con un 11%. Por cuarto año consecutivo las nuevas instalaciones con FRE fueron superiores a los combustibles fósiles y nucleares combinados, esto es debido en parte a la disminución de los costos y a los avances tecnológicos (REN21, 2019).

La energía hidroeléctrica representa un 48% de la capacidad acumulada en funcionamiento y un 60% de la generación total de FRE, la cual sigue siendo la más utilizada en todo el mundo con una capacidad instalada total de alrededor de 1132 GW. Al cierre del 2018 la generación total de hidroenergía se estimó en 4210 TWh (REN21, 2019). Cuba tiene 37 grandes ríos y 120 embalses, alrededor de 143 billones de m<sup>3</sup> de agua dentro de los que existe un potencial hidroeléctrico, aunque hay algunos casos comprometidos por ser reservas de la biosfera. En la actualidad se han construido 180 plantas hidroeléctricas y minihidroeléctricas con el objetivo de aprovechar el potencial energético de los ríos, alcanzando 58 MW de capacidad instalada, con una generación anual de energía de 150.8 GWh. La mayor central hidroeléctrica del país se encuentra en Hanabanilla, en la provincia de Cienfuegos; con una capacidad instalada de 43 MW (Suarez et al., 2016).

Entre de las fuentes renovables de energía que se basan en la energía que porta el agua se encuentran las corrientes marinas. La hidrocínética, que es parte de la hidroenergía que tiene el agua en movimiento, se utiliza para la obtención de energía eléctrica. El agua con energía cinética mueve las aspas de un hidrogenerador realizando un movimiento mecánico, el cual es convertido por el generador en energía eléctrica, y esta es transferida a través de las líneas de transmisión a todos los puntos de consumo, según las necesidades de los consumidores (Wang et al. 2015). En la actualidad, la mayoría de los proyectos hidrocínicos se explotan con hidrogeneradores de pequeña escala (menos de 1 MW), aunque la capacidad instalada total es de 532 MW. La mayoría de los proyectos se concentran en Europa. En el Reino Unido, por ejemplo, está la turbina hidrocínética más grande del mundo, conocida como “Scotland’s MeyGen”, con una capacidad instalada de 6 MW, que en el año 2018 terminó generando 10 GWh, la cantidad de electricidad que 2800 hogares escoceses consumen en un año. También en el continente asiático se han desarrollado prototipos más pequeños, específicamente en China, donde la Universidad de Zhejiang desarrolló una turbina de eje horizontal de 600 kW (REN21, 2019).

Al cierre del 2018 habían más de 90 desarrolladores de tecnología hidrocínética, de los cuales más de la mitad trabajan con turbinas de eje horizontal (REN21, 2019). Cuba, por su condición geográfica insular, tiene un conjunto de corrientes oceánicas que influyen sensiblemente en sus condiciones ambientales, marinas y costeras. Al norte, en el Golfo de México, está la corriente de Lazo, la que moviéndose al sur se convierte en la Corriente del Golfo y sale al océano Atlántico a través del Canal de la Florida; al norte de la región oriental de Cuba se encuentra la Corriente de las Antillas, la que se desplaza en un rumbo próximo al oeste hasta fundirse con la Corriente del Golfo (Hernández, 2017). Esta situación geográfica unida al potencial que presenta nuestro país en otras fuentes renovables hacen que se establezca una nueva política energética

proyectada hasta el año 2030, donde se espera que el porcentaje de penetración de las fuentes renovables de energía supere el 24% (Rivera, 2019).

Bajo estas condiciones, se hace necesario implementar un sistema que respalde a las instalaciones con distintos servicios de ingeniería como: concepción inicial de las mismas, diseño y mantenimiento durante la vida útil, entre otros. En el caso de los parques hidrocínicos existe la carencia de un programa computacional capaz de monitorear, operar y procesar datos, tanto del recurso hidráulico que se seleccione como del tipo de tecnología que presenta la turbina.

Es por ello que este trabajo pretende analizar un caso de estudio con potencial para la introducción de la tecnología hidrocínica, y a su vez mostrar las capacidades de una herramienta matemática creada para estos efectos, así como un breve resumen de sus funcionalidades al contar con una base de datos de las diferentes tecnologías hidrocínicas, todo lo cual permite evaluar la viabilidad técnica de un posible emplazamiento de esta tecnología.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Modelación de la turbina y análisis energético

El primer paso para el cálculo de los parámetros requeridos para instalar un parque hidrocínico es tener en cuenta todas las leyes y ecuaciones que caracterizan a las turbinas empleadas en dicha instalación.

Tanto en turbinas de viento como en turbinas hidrocínicas el principio es similar, por tanto, se puede extraer una potencia ideal de la energía cinética por medio de la ecuación (1) (Benelghali et al., 2012).

$$P_i = \frac{1}{2} * k_b * A * d * v^3 \quad (1)$$

donde:

$P_i$  = Potencia ideal (W).

$A$  = área en metros cuadrados (m<sup>2</sup>).

$d$  = densidad del agua (1000 kg/m<sup>3</sup>).

$v$  = velocidad del agua (m/s).

$k_b$  = coeficiente de Betz =  $16/27 = 0,592$

Mediante la ley de Betz se demuestra que, de la energía total del viento, sólo se aprovecha para producir trabajo mecánico el 59 %, esto ocurre de manera similar con el flujo de agua, cuando la velocidad del flujo que deja la turbina es un tercio de la velocidad que ingresa a la misma (Cardona et al., 2017).

Además, se tiene en cuenta que existen razones por las cuales no es posible extraer toda la potencia disponible de una corriente de agua, como demuestra la ecuación (2), la potencia teórica del flujo se expresa como:

$$P_{agua} = \frac{1}{2} * \rho * A * d * v^3 \quad (2)$$

donde:

$\rho$  = densidad de agua (1000 kg/m<sup>3</sup>).

$A$  = superficie o área barrida (m<sup>2</sup>).

$V$  = velocidad del agua (m/s).

La diferencia más notable es que la densidad del agua es aproximadamente 850 veces mayor que la del aire, por lo que la energía en una corriente de flujo dado es mucho mayor para una turbina hidrocínética que para una turbina eólica. Los valores de densidad del agua ( $\rho$ ) son de 1000 kg/m<sup>3</sup> para el agua dulce y de 1025 kg/m<sup>3</sup> para el agua salada (Cardona, 2018).

Como el estudio de las turbinas hidrocínéticas se asocia con características similares a las de las turbinas de viento, se establece el coeficiente de potencia como se observa en las ecuaciones (3) y (4) (Campos y Vásquez, 2017).

$$C_p = \frac{\text{potencia disponible eje}}{\text{potencia disponible fluido}} \quad (3)$$

$$C_p = \frac{P_{efec}}{P_{agua}} = \frac{P_{efec}}{\frac{1}{2} * \rho * A * d * v_0^3} \quad (4)$$

donde:

$P_{efec}$  = Potencia efectiva (W).

$C_p$  = Coeficiente de potencia.

Para calcular la potencia de salida que se describe en la expresión (5), se tiene en cuenta el coeficiente de potencia, debido a que es una cantidad que denota qué fracción de la energía del flujo de agua está siendo extraída por la turbina hidrocínética (Rolón et al., 2018).

$$P_{salida} = \frac{1}{2} * \rho * A * v^3 * C_p \quad (5)$$

donde:

$P_{salida}$  = Potencia de salida de la turbina hidrocínética (W).

$\rho$  = Densidad del agua (1000 kg/m<sup>3</sup>).

$A$  = Superficie o área de barrido (m<sup>2</sup>).

$V$  = Velocidad del caudal (m/s).

$C_p$  = Coeficiente de potencia.

El análisis energético se realizó consultando el Balance Anual de la Unión Eléctrica (UNE) del 2018, donde se define el consumo promedio equivalente de combustible por kWh generado en Cuba, el cual es de 262,8 g/kWh.

Primero es necesario conocer la cantidad de energía que aporta el parque en un año, el cual se calcula utilizando la ecuación (6).

$$E = P_g * 24 * 365 \quad (6)$$

donde:

$E$  = energía anual entregada por el parque hidrocínético (kWh).

$P_g$  = potencia generada por el parque hidrocínético (W).

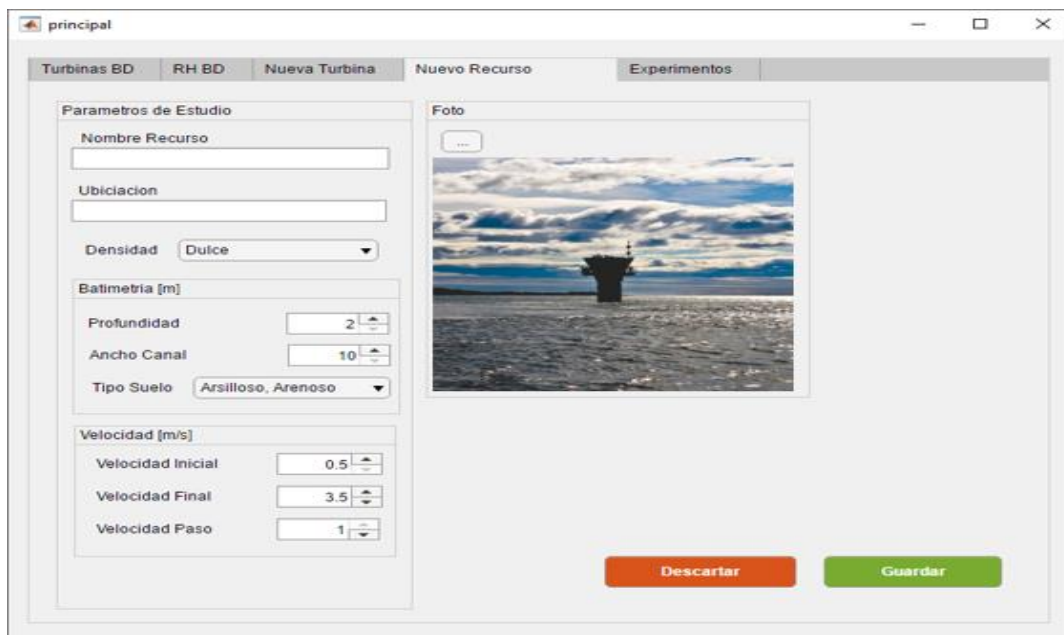
Finalmente, para calcular el ahorro de combustible se utiliza la expresión (7), donde se calcula la cantidad de diésel ( $D_i$ ) en toneladas que se requiere para generar la cantidad de energía E que ya no se generaría con diésel.

$$D_i = \frac{E \cdot 262,8}{10^6} \quad (7)$$

### Funcionalidad del programa

El programa desarrollado presenta múltiples funcionalidades como: calcular la potencia activa de un parque hidrocínético, trabajar con bases de datos de recursos hídricos y de fabricantes de turbinas, visualizar las simulaciones desarrolladas, establecer comparaciones entre las distintas tecnologías, estimar la energía anual del parque y el ahorro de combustible.

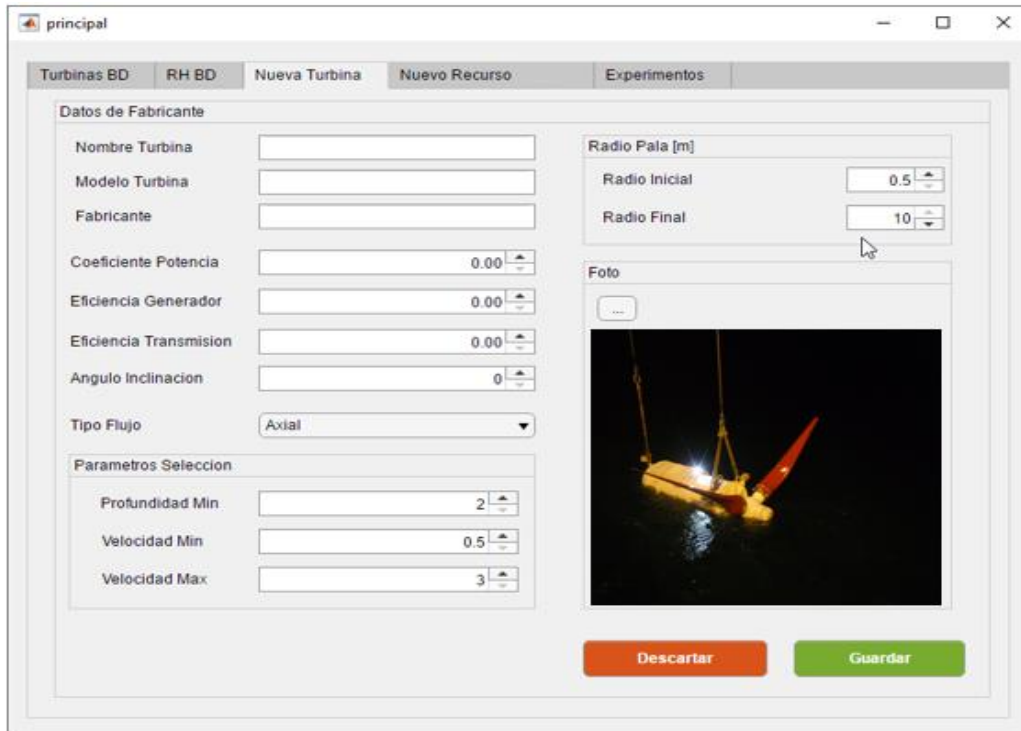
Como se muestra en la figura 1, en la pantalla principal del programa existen diferentes opciones a utilizar, el primer paso sería rellenar los campos de la función “Nuevo Recurso” los cuales se almacenan en la base de datos que le corresponda y que se refiere a las características del recurso hídrico, que en este caso se guardarían en “RH BD”.



**Figura 1. Ventana “Nuevo Recurso”**

Una operación similar se realiza con la función “Nueva Turbina” (figura 2), donde los datos introducidos quedarán almacenados en la base de datos de las turbinas “Turbinas BD”.

El objetivo de contar con las dos bases de datos es tener una fuente de almacenamiento, tanto de distintos recursos hídricos como de diferentes tecnologías de turbinas hidrocínéticas, a las que se puede tener acceso en cualquier momento, tal y como se observa en la figura 3. Finalmente, el programa permite realizar comparaciones, estableciendo que tipo de tecnología es la más adecuada para el sitio escogido.



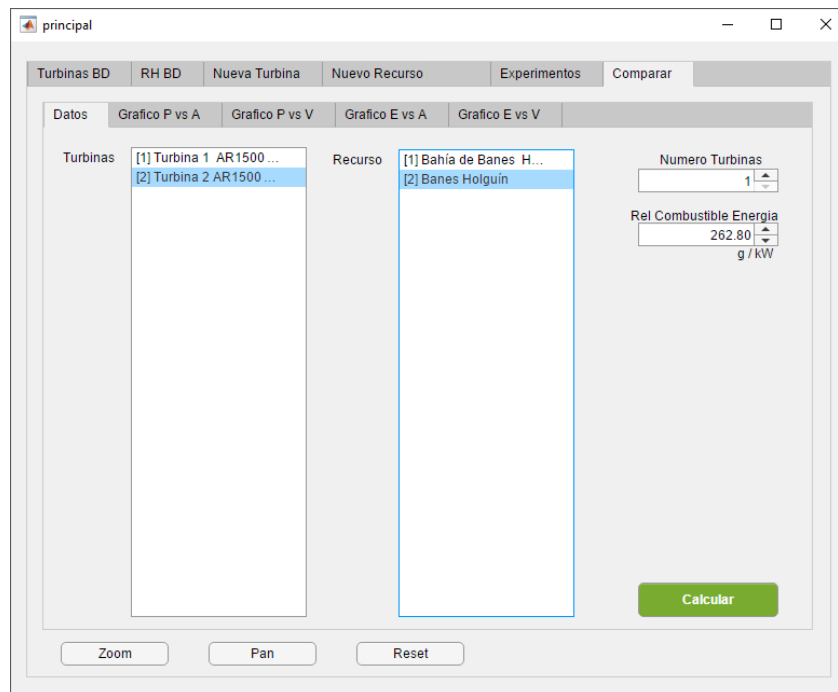
**Figura 2. Ventana “Nueva Turbina”**

Nombre	Modelo	Fabricante	Cp	Ng	Ntr	Tipo Flujo	Angulo	r 0	r 1	Pmin	Vmin	Vmax
Turbina 1	AR1500	Atlantis Resource	0.3500	0.9700	0.8700	Axial	0	0.5000	9	30	3	5
Turbina 2	AR1500	Atlantis Resource	0.3500	0.9700	0.8700	Axial	0	0.5000	9	30	3	6

**Figura 3. Ventana de datos “Turbinas BD”**

Con los datos necesarios de la turbina y del recurso hidráulico se selecciona la cantidad de turbinas que va a tener el parque hidrocínético y se escoge la relación combustible/energía (según el promedio de consumo anual que suministre la Unión Eléctrica), un ejemplo de esta pantalla se muestra en la figura 4.

Luego se calculan y se muestran los datos de energía producida y ahorro de combustible anuales (en la tabla 1 se muestra un ejemplo variando la velocidad del caudal del recurso hidráulico), a partir de una locación definida y distintos modelos o números de turbinas hidrocínéticas seleccionadas. Con estos resultados se establecen los criterios para escoger la tecnología más idónea a emplear, según el ahorro de combustible que representa.

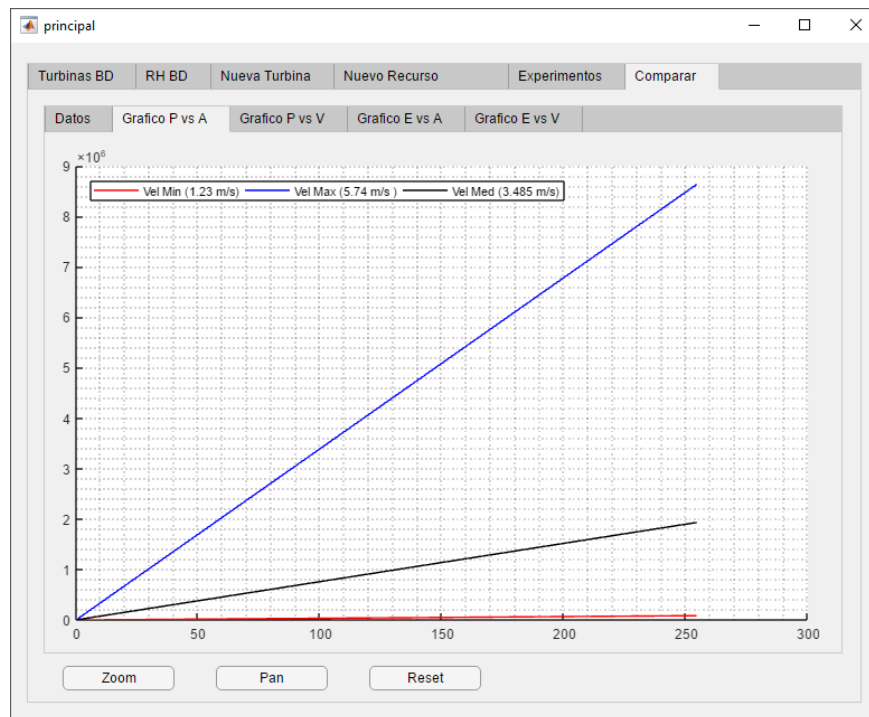


**Figura 4. Ventana de selección de turbinas, ubicación y consumo de combustible.**

**Tabla 1. Datos de energía producida y combustible ahorrado en un año**

<b>Potencia (kW)</b>	<b>Energía (MWh/año)</b>	<b>Combustible (t/año)</b>
495	13 009	3418,7
680,84	17 893	4702,2
908,19	23 867	6272,4
1181,2	31 043	8158,1
1504,2	39 530	10 388
1881,2	49 437	12 992
2316,4	60 876	15 998

Para elegir la mejor variante se compara la potencia que puede generar la turbina hidrocínética según el área de barrido, tomando los datos del recurso hidráulico y la turbina seleccionada. Esto ofrece una visión del comportamiento futuro de la generación de energía de la turbina con relación a cambios en alguna de las variables. En la figura 5 se muestra la variación de la generación (W) contra el área de barrido de la turbina (m<sup>2</sup>). En la figura, la curva azul corresponde a la velocidad máxima del caudal que tiene el recurso hidráulico que activa la turbina, la curva negra a la velocidad media y la curva roja a la velocidad mínima. Esta opción es esencial para comparar varios tipos de turbinas que tengan diferentes áreas con un mismo recurso hidráulico elegido.



**Figura 5. Ventana de gráficas de generación de Potencia de P(W) vs A(m<sup>2</sup>)**

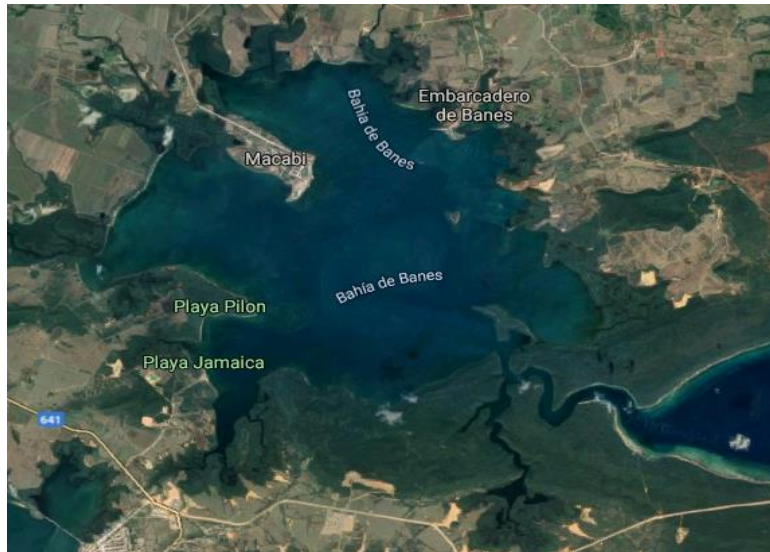
## CASO DE ESTUDIO

Como caso de estudio se eligió la Bahía de Banes, ubicada en Holguín, ya que se han realizado estudios previos para la instalación de turbinas hidrocinéticas en esa zona que han arrojado la existencia de un recurso hidráulico con buenas características para este tipo de emplazamiento. En el estudio se utilizaron los datos de la velocidad de las mareas durante un año y las características batimétricas e hidrológicas de la zona seleccionada.

El lecho marino en la Bahía de Banes es principalmente fango arenoso, además, hay presencia de determinadas zonas con un fondo arcilloso, aunque este no es predominante. El canal cuenta con una longitud de 3,4 km y su ancho varía desde los 140 hasta los 370 metros. La profundidad del canal de la bahía varía a todo lo largo de la misma, con valores desde los 10 hasta los 38 metros de profundidad. La máxima diferencia de marea es de 70 cm. Otros datos adicionales para el conocimiento más a fondo de la zona son: el valor promedio anual de la temperatura que es igual a 20 °C, con un valor máximo promedio de 25,4 °C en los meses de verano (julio-septiembre), y un mínimo promedio de 4,2 °C en los meses de invierno (diciembre-febrero).

La velocidad de las corrientes de marea es un dato fundamental para el análisis del potencial hidrocinético, esta varía por horarios, en dependencia de la influencia del sistema Sol-Tierra-Luna. Las muestras analizadas fueron horarias durante un año, las velocidades variaron desde 1,23 m/s hasta los 5,74 m/s, estos datos representan los extremos mínimo y máximo de la muestra analizada. El promedio de las velocidades de las corrientes fue de 3,62 m/s, este dato permite conocer la velocidad sobre la que trabajará comúnmente el sistema (Hernández, 2017).





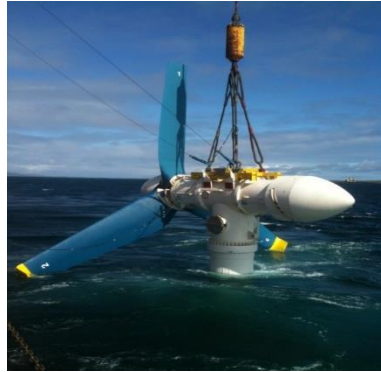
**Figura 6. Bahía de Banes en Holguín**

## ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

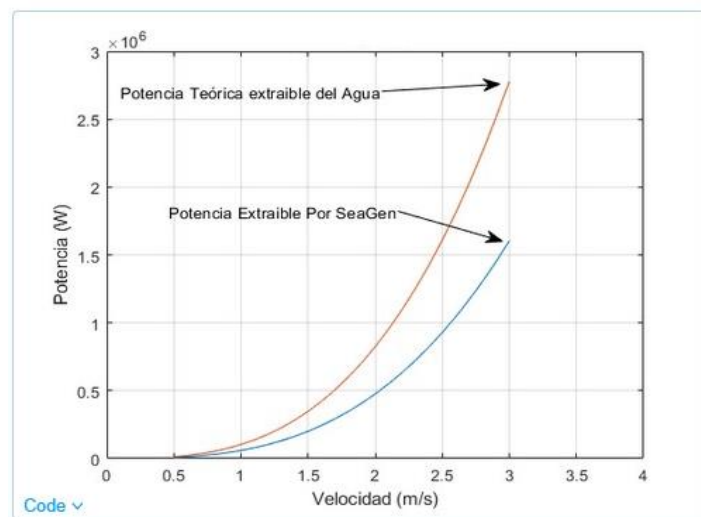
Se simuló el sistema hidrocínético teniendo un conocimiento previo del lugar donde se desea instalar (las velocidades de las corrientes marinas y la profundidad de la zona) y de la tecnología de una turbina hidrocínética. Para demostrar las bondades del programa se analizaron dos opciones variando la cantidad de turbinas a utilizar en el parque hidrocínético (una y tres turbinas). Todas las reseñas utilizadas de la turbina y del lugar seleccionado (Bahía de Banes) se recopilaron de investigaciones antes realizadas, además se utilizaron datos suministrados por la Unión Eléctrica Nacional (UNE).

La turbina hidrocínética seleccionada fue la AR1500, del fabricante Atlantis Marine Currents, la cual es de eje horizontal. Una vez incorporados los modelos matemáticos al programa se calculó el porcentaje de la potencia teórica disponible en el recurso hidráulico del canal de la bahía de Banes el cual resultó de un 57,7 %. Además, cabe señalar que este valor de potencia extraíble también depende del coeficiente de potencia de la turbina hidrocínética, de la eficiencia del generador y de la eficiencia en la transmisión; datos suministrados por el fabricante que se le insertan al programa en la ventana “Nueva Turbina”. En la figura 8 se muestra la diferencia entre la potencia teórica del flujo de agua y la real extraíble por la turbina en la zona de estudio.

La curva de potencia de una turbina hidrocínética indica cuál será la potencia eléctrica disponible para diferentes velocidades del agua. Para la estimación de la energía obtenida se debe disponer de la distribución de velocidades del agua del sitio y contar con la curva de potencia de la turbina suministrada por el fabricante.



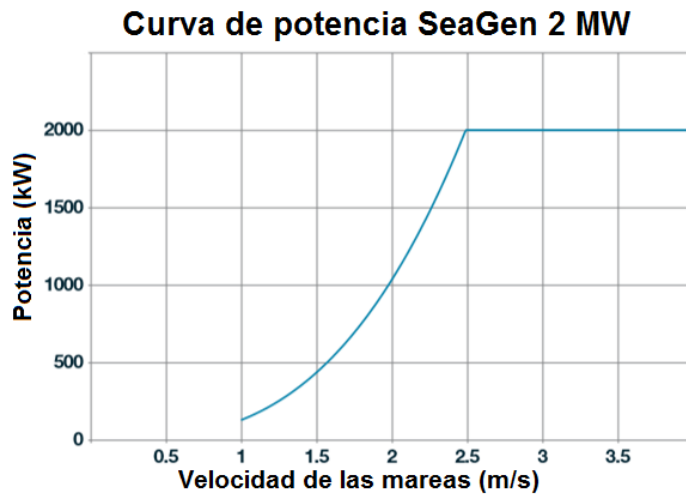
**Figura 7. Turbina AR1500 (Atlantis Marine, 2017)**



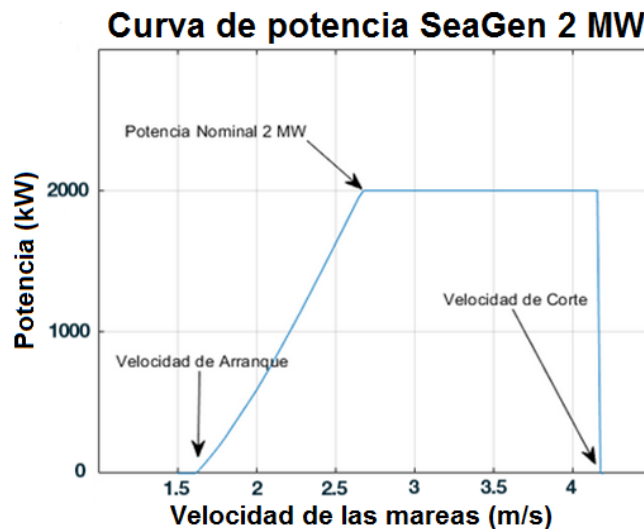
**Figura 8. Potencia teórica y potencia real extraíble por la turbina**

Para validar los resultados obtenidos con el programa, el primer paso es la comparación de las dos curvas de potencia, la suministrada por el fabricante, que se muestra en la figura 9, y la estimada por medio del programa, mostrada en la figura 10. Teniendo en cuenta que con una velocidad del agua de 2,5 m/s la curva de potencia del fabricante se encuentra en los 2 MW de potencia nominal, y que con esa misma velocidad el valor de potencia estimado con el modelo utilizado fue de 1,925 MW, se obtuvo un error de estimación del 3,75 %. La obtención de unos resultados con un error menor al 5 % en todos los puntos entre la curva de potencia del fabricante y la del programa de simulación, permitió validar el uso de este último para dimensionar y calcular la energía que puede producir un parque hidrocínético.

Una vez ingresados los valores en la base de datos del programa se realizaron los cálculos de los valores anuales de generación de energía y ahorro de combustible. Las estimaciones se realizaron primeramente con una turbina hidrocínética y luego con tres turbinas hidrocínéticas. Los resultados obtenidos en ambos casos se muestran a continuación.



**Figura 9. Curva de potencia del Fabricante**



**Figura 10. Curva de potencia obtenida por el programa**

### Cálculo para una turbina hidrocínética

El programa entrega todos los datos calculados, dando todas las combinaciones posibles con la variación del área de la turbina y la velocidad de la marea. En este caso, tal y como se aprecia en la tabla 2, se escogieron los valores del fabricante: para un radio de 9 m y un área de barrido 254.46 m<sup>2</sup>. Hay que destacar que el programa toma los datos de las velocidades mínima y máxima del recurso hidráulico y calcula los resultados con un paso de variación de la velocidad determinado por el usuario, dadas las condiciones del lugar (en este caso fue de 0,25). Debido a que la turbina elegida comienza a trabajar a partir de los 3 m/s, se tomó el caso 3, donde la velocidad de las mareas fuera de 3,23 m/s, siendo el valor más pequeño tomado de la muestra y que estaba más cercano por exceso a la velocidad mínima de arranque de la turbina. Para este caso se obtuvo una potencia estimada de 1,54 MW, una energía entregada anual de 13,5 GWh/año y un ahorro de combustible de 3541 t/año (tabla 2).

**Tabla 2. Energía producida y combustible evitado según la potencia del parque hidrocinético**

Radio (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Velocidad (m/s)	Potencia (kW)	Energía (MWh/año)	Combustible (t/año)
9	254,46	2,73	928,72	8135,6	2138
		2,98	1207,9	10 582	2780,8
		<b>3,23</b>	<b>1538,2</b>	<b>13 474</b>	<b>3541,1</b>
		3,48	1923,7	16 852	4428,6

**Cálculo para tres turbinas hidrocinéticas**

Este ejemplo se realizó variando la cantidad de turbinas hidrocinéticas, en este caso serían tres turbinas, se mantienen los mismos datos de radio, área, potencia y velocidad elegidos anteriormente. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 3.

**Tabla 3. Cálculo para tres turbinas hidrocinéticas**

Potencia (kW)	Energía (MWh/año)	Combustible (t/año)
928,72	24 407	6414,1
1207,9	31 745	8342,5
1538,2	40 423	10 623
1923,7	50 555	13 286

Los resultados de las simulaciones muestran también las bondades de la herramienta de cálculo elaborada en este estudio que permitiría su utilización y la de las estimaciones que se obtienen por medio de esta para definir las ubicaciones en Cuba que tienen potencial para el emplazamiento de turbinas hidrocinéticas, como es el caso del cañón de entrada de la bahía de Banes, que se encuentra ubicado en 20°52'35." N y 75°39'38.57" O. Este estudio corrobora la idea de que se podría construir una central hidrocinética y conectarla al Sistema Electroenergético Nacional (SEN) si los estudios de factibilidad técnico-económicos y de impacto ambiental arrojaran resultados favorables. Para un estudio de prefactibilidad económica se pudiera tomar como punto de partida las modelaciones que se realizaron con tres turbinas del modelo AR1500 separadas a una distancia de 350 m entre sí, con un período de vida de 25 años, y tres servicios de mantenimiento, cada 6 años y 3 meses.

**CONCLUSIONES**

El desarrollo de la herramienta matemática mostrada permite evaluar de forma satisfactoria las potencialidades que puede tener Cuba en el sector de las Energías Renovables en el campo de la hidroenergía. Esta herramienta hace posible visualizar a través de modelos matemáticos el comportamiento de turbinas hidrocinéticas en caudales de agua con una velocidad dada y caracterizar la potencialidad del sitio. Las simulaciones arrojaron resultados muy favorables con un error menor al 5 %, lo que permite utilizar la información que brinda la herramienta como parámetros de cálculo para futuros estudios de prefactibilidad de la introducción de esta tecnología. Además, su flexibilidad al contar con una base de datos, permite introducirle las

características de los recursos hidráulicos de cada lugar y los modelos de las turbinas que se desean evaluar utilizando los datos existentes o agregando nuevos al programa. La implementación de la herramienta en el caso de estudio propuesto de la Bahía de Banes permitió demostrar las condiciones que tiene Cuba para implementar la tecnología de turbinas hidrocínéticas. Esto confirma una vez más las posibilidades de Cuba de fomentar el uso de nuevas formas de generación de energía y con ello evitar el consumo de combustibles fósiles.

## REFERENCIAS

- Benelghali S., El Hachemi M. and Frédéric J.** (2012). “Generator systems for marine current turbine applications: A Comparative Study”, IEEE Journal of Oceanic Engineering, vol.37, no.3, pp. 554-563, ISSN 0364-9059, IEEE, New Jersey, USA.
- Campos R. A. y Vásquez J. C.** (2017). “Análisis técnico-económico, diseño y evaluación experimental de la implementación de una turbina hidrocínética para generación eléctrica”, Tesis de maestría, Facultad de Ingeniería Mecánica, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Cardona C. C.** (2018). “Desarrollo de una turbina hidrocínética de eje horizontal de 1 HP para picogeneración de energía eléctrica en zonas no interconectadas”, Tesis de maestría en Gestión Energética Industrial, Instituto Tecnológico Metropolitano, Facultad de Ingenierías, Medellín, Colombia.
- Cardona C. C., Casas J. A., Sierra Del Rio J., Chica E. L. y Zuluaga D.** (2017). “Análisis computacional de una turbina hidrocínética de eje horizontal con y sin difusor”, Revista CINTEX, vol.22, n.1, pp. 47-57, ISSN 0122-350X, CINTEX, Medellín, Colombia.
- Hernández J.** (2017). “Evaluación de las potencialidades energéticas de los mares circundantes a Cuba”, Informe científico técnico, Código: P211LH003, Centro de Meteorología Marina, Habana, Cuba.
- REN21** (2019). “Renewables 2019 Global Status Report”, REN21 Secretariat. ISBN 978-3-9818911-7-1, Paris, France.
- Rivera L.** (2019). “El cambio climático y el desarrollo energético sostenible en América Latina y el Caribe al amparo del Acuerdo de París y de la Agenda 2030”, Documentos de Trabajo, no. 15 (2ª época), ISSN 1885-9119, Fundación Carolina, Madrid, España.
- Rolón H. A., Acevedo P. C. y Villamizar G. Y.** (2018). “Modelado matemático y simulación del comportamiento de una turbina hidrocínética tipo darrieus; consideraciones de diseño”, Revista de Ingeniería RESPUESTAS, vol.23, no.1, pp. 14- 18, ISSN 0122-820X - E ISSN 2422-5053, Cúcuta, Colombia.
- Suarez J. A., Beaton P. A., Faxas R. and Luengo C. A.** (2016). “The state and prospects of renewable energy in Cuba”, Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy, vol.11, no.2, pp. 111-117, ISSN 111-117, London, England.

**Wang L., Yan-Fu L. and Te-Ming L.** (2015). “Implementation and measurements of a prototype marine-current power generation system on Peng-Hu Island”, IEEE Transactions on Industry Applications, vol.51, no.1, pp. 651-657, ISSN 0093-9994, Orlando, Florida, USA.

### **Conflicto de intereses**

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

### **Contribución de los autores**

*José Alejandro Pérez Martínez* <https://orcid.org/0000-0001-8003-4443>

Diseño de la investigación, recolección de los datos, modelación matemática, desarrollo del programa. Participó en el análisis de los resultados, redacción del borrador del artículo, la revisión crítica de su contenido y en la aprobación final.

*Elizenia Sánchez Valdés* <https://orcid.org/0000-0002-4619-5195>

Diseño de la investigación, recolección de los datos, modelación matemática, desarrollo del programa. Participó en el análisis de los resultados, en la redacción del borrador del artículo y en la aprobación final.

*Pablo Sánchez Yañez* <https://orcid.org/0000-0003-2645-787X>

Diseño de la investigación, recolección de los datos, modelación matemática, desarrollo del programa. Participó en el análisis de los resultados, redacción del borrador del artículo, la revisión crítica de su contenido y en la aprobación final.

*Ariel Santos Fuentesfría* <https://orcid.org/0000-0002-9131-5539>

Diseño de la investigación, modelación matemática, desarrollo del programa. Participó en el análisis de los resultados, redacción del borrador del artículo, la revisión crítica de su contenido y en la aprobación final.