

Proyecto STEM sobre la generación de energía eléctrica en el río Amajac usando turbinas

STEM project on the feasibility of generating electricity in the Amajac river using turbines

Carmen del Pilar Suárez Rodríguez¹✉, Nicolas Martinez Ortiz¹, Angel Ossiel Perez Santiago¹, Raúl Castillo Meraz¹

¹Coordinación Académica Región Huasteca Sur / Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México.

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo identificar la factibilidad de obtener energía eléctrica de una corriente de agua para cubrir necesidades básicas de habitantes de comunidades rurales y remotas de Tamazunchale, San Luis Potosí, México, en la ribera del río Amajac. El método de solución de problemas fue el círculo de Deming. Se llevó a cabo una revisión bibliográfica de las turbinas hidráulicas existentes en el mercado y se identificaron las variables relacionadas con la generación de energía. Asimismo, se identificó cuál es la turbina más adecuada y el sistema de mayor eficiencia para las condiciones de esa parte de México y se recolectaron datos en tres localidades diferentes (Tlapexhuaca Tacial, Taman y Vega Larga) utilizando el método del flotador para conocer el caudal y cálculos respectivos. Se encontró que la localidad de Tlapexhuaca Tacial tiene la mayor velocidad de corriente de río con una energía cinética promedio de 3847 Joules, por lo que en trabajos futuros se trabajará en el diseño de la turbina óptima.

PALABRAS CLAVE: STEM; energía renovable; zonas rurales; Huasteca; energía eléctrica.

ABSTRACT

The objective of this research is to identify the feasibility of obtaining electrical energy from a water current to cover the basic needs of the inhabitants of rural and remote communities of Tamazunchale, near the banks of the Amajac River located in San Luis Potosi, Mexico. The problem solving method was the Deming circle. A bibliographic review of the existing hydraulic turbines in the market was carried out and the variables related to energy generation were identified. Likewise, it is determined what type of turbine and hydraulic energy system is more efficient and adequate in this region. Measurements and data collection were carried out in three locations (Tlapexhuaca Tacial, Taman, and Vega Larga) using the floater method to know the flow and respective calculations. It was found that the locality of Tacial has the highest speed of the river current with an average kinetic energy of 3,847 Joules, so in future assignments, we will work on the design of the optimal turbine for this task.

KEYWORDS: STEM; renewable energy; rural zones; Huasteca; electric power.

Correspondencia:

DESTINATARIO: Carmen del Pilar Suárez Rodríguez
INSTITUCIÓN: Coordinación Académica Región Huasteca Sur /
Universidad Autónoma de San Luis Potosí
DIRECCIÓN: Km. 5 Carretera Tamazunchale-San Martín, C. P.
79960, Tamazunchale, San Luis Potosí, México
CORREO ELECTRÓNICO: pilar.suarez@uaslp.mx

Fecha de recepción: 26 de junio de 2022. **Fecha de aceptación:**
30 de agosto de 2022. **Fecha de publicación:** 31 de agosto de
2022.



I. INTRODUCCIÓN

La energía eléctrica es un motor para el desarrollo económico y de bienestar de los países, ya que está presente en la producción, transporte de productos y personas, comunicación, educación, seguridad, salud, entretenimiento, es decir, en todos los aspectos de la vida humana [1], especialmente en esta época donde la automatización de los procesos se ha incrementado en los últimos años desde la invención de la electricidad y la electrónica. La electricidad se considera una tecnología disruptiva, ya que cambió por completo el comportamiento social. Desafortunadamente, el acceso a la energía eléctrica no es equitativo; 789 millones de personas no cuentan con ella, siendo un factor que disminuye las oportunidades de desarrollo [2]. México y la región huasteca no son la excepción.

La generación de la energía ha sido obtenida principalmente de los combustibles fósiles, su consumo se asocia a la contaminación ambiental y es una de las causas del cambio climático [3], aunque con la pandemia de COVID-19, en 2020 hubo una disminución del consumo de energía en el mundo del 4.5 %, la caída más grande desde 1945, según el 70.º Informe Estadístico de la Energía Mundial:

La caída en el consumo de energía fue impulsada principalmente por el petróleo, que contribuyó con casi las tres cuartas partes de la caída neta, aunque el gas natural y el carbón también experimentaron caídas significativas. La energía eólica, solar e hidroeléctrica crecieron a pesar de la caída en la demanda general de energía. Por países, EE. UU., India y Rusia contribuyeron con las mayores caídas en el consumo de energía. China registró el mayor aumento (2.1 %), uno de los pocos países donde la demanda de energía creció el año pasado [2].

Se concluye el informe citado con la pregunta: “¿Podrá la energía renovable mantener las rápidas tasas de crecimiento observadas en los últimos cinco años?”, a lo que los autores de este artículo agregan: ¿Qué acciones están contempladas para su implementación de energías renovables en comunidades rurales y remotas de los países más pobres?, que permitan cumplir con el objetivo 7, “Energía asequible y no contaminante”, de la agenda 2030 [3].

Para lo anterior, se requiere contar con proyectos de reducción de la pobreza y de desarrollo de infraestruc-

tura rural. Afortunadamente, desde los gobiernos y el empresariado existen iniciativas que buscan disminuir esta brecha de desigualdad, como el proyecto “redes de enjambre” en África [4], “Granjas solares” [5] y “Luces de esperanza” en Tamazunchale [6], entre otros. Pero resulta importante la participación de la academia en la gestión de estos proyectos, específicamente aquellos asociados a la formación de profesionales con una visión que apueste por la sustentabilidad.

Al egresar de la carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Coordinación Académica de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, de acuerdo con su modelo educativo y plan curricular de la carrera, los nuevos profesionistas deben desarrollar como competencia la capacidad de aplicar los conocimientos científicos a las necesidades y problemáticas que prevalecen en el contexto biosocial, cercano a la universidad [7]. En este sentido, durante su formación se hace relevante promover su participación en la solución de problemas locales a través de proyectos [8].

El enfoque STEM (acrónimo en inglés de Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas), además de promover el conocimiento de las ciencias de manera integrada, busca formar ciudadanos responsables de su entorno, con habilidades para tomar decisiones argumentadas y con la capacidad de resolver problemas reales bajo un enfoque que asegure los derechos humanos y los de la naturaleza, y puede contribuir al trabajo voluntario, informal y doméstico al mejorar el conocimiento sobre uso eficiente de los recursos, economía y salud, entre otros. Es decir, los problemas de una comunidad pueden ser analizados desde una perspectiva transdisciplinaria, integral y con la suma de todos los esfuerzos.

Con esta perspectiva, en este trabajo se analiza la posibilidad de proveer de energía eléctrica para cubrir necesidades básicas a habitantes de comunidades rurales y remotas a partir de la corriente de un río, por lo que se realizó un análisis de factibilidad sobre la generación de energía eléctrica en el río Amajac en tres comunidades de Tamazunchale, San Luis Potosí, México.

MARCO TEÓRICO

Las hidroeléctricas crecieron como una forma de atender las necesidades energéticas de los países, sin embargo, pudieran presentar, junto con sus beneficios, algunos prejuicios en el medio ambiente y las activi-

dades humanas ^[9], especialmente cuando son macro-proyectos.

La energía hidráulica se basa principalmente en el uso de una turbina, que es una máquina que transforma la energía cinética y potencial del agua de una fuente (como el océano, una cascada, un río) en energía mecánica de rotación utilizada para generar electricidad a través de un acoplamiento de una turbina y un generador. La caída en una cascada, o simplemente de la corriente, hace que el generador gire produciendo energía eléctrica con una eficiencia alta, de hasta el 90 % ^[10], sin afectar la corriente natural del río.

Las turbinas hidrocínicas son fundamentales para el proceso, por lo que con el paso del tiempo han evolucionado la manera de obtener la máxima energía del río a partir del movimiento del agua en donde no existe una caída natural o artificial. Esto abre la posibilidad de que sean implementadas a menor costo en diferentes zonas, presentando una afectación grande al medio ambiente.

Para aprovechar el flujo del río es necesario tener información sobre variables como el caudal y la profundidad, además de otros comportamientos. Sin esta información no es posible implementar un generador eléctrico que se utilice para producir energía eléctrica limpia. Por tanto, se requiere conocer las variables involucradas para definir el tipo de la turbina hidráulica adecuada a las condiciones del cuerpo de agua.

En la literatura se reportan trabajos donde se analizan desde la factibilidad hasta la evaluación de sistemas creados en contextos universitarios. Pérez Martínez *et al.* ^[11] concluyen sobre la importancia de realizar simulaciones para el diseño de las turbinas, para determinar la factibilidad de implementación de este tipo de tecnología en Cuba. En Perú, como un trabajo de titulación de licenciatura, se realizó un estudio técnico a nivel de prefactibilidad de un proyecto de generación hidroeléctrica ^[12]. En Ecuador, como tesis de la carrera de Ingeniería Eléctrica, se presentó un estudio de un análisis de la hidrología y topología del lugar de incidencia, se midió el caudal y la caída del agua para producir energía eléctrica ^[13]. Se presentan diseños y evaluación de diferentes tipos de turbinas en ^[14], ^[15], los cuales apuntan a que otros autores consideran relevante este tipo de estudios, a pesar de que la energía eléctrica se produce con empresas transnacionales.

El nombre del municipio de Tamazunchale, ubicado en la Huasteca potosina, proviene del huasteco *Tam Uxum Ts'alej* y significa "lugar donde proviene la mujer gobernadora". Esta demarcación y su cabecera municipal, ambas del mismo nombre, están ubicadas en la Sierra Madre Oriental, coordenadas geográficas de 98° 48' de longitud oeste y 21° 16' de latitud norte, con una altura cercana al nivel del mar. Es una zona montañosa, de clima semicálido húmedo, donde afluyen los ríos Moctezuma, Claro y Amajac, y en la que el 74.7 % de la población vive sin acceso a servicios básicos de vivienda, entre ellos la electricidad.

En este contexto, en el municipio de Tamazunchale existen comunidades circunvecinas que colindan o están en el cruce de un río y que no cuentan con un suministro de energía eléctrica adecuada, a pesar de que gran parte de la población se queja de la falta de este servicio. De manera similar, la falta de energía afecta a la economía y a la salud de los habitantes de dichas comunidades debido a que no pueden mantener sus alimentos en conservación, sobre todo si uno de ellos se encuentra grave de salud y requiere la utilización de equipos que requieran ser energizados.

En este trabajo, resultado de las prácticas profesionales de dos estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecánica realizadas de febrero a mayo de 2022, se explora si las condiciones del río Amajac, en las inmediaciones de Tamazunchale, son aptas para colocar una turbina que dote de energía a pequeñas comunidades rurales que no cuentan con el servicio y que sirva para satisfacer algunas necesidades básicas. Posteriormente, se pretende explorar la factibilidad económica y ambiental para la construcción de estas.

En la primera etapa se realizó un estudio de las variables que intervienen en el movimiento de un fluido, como lo es la corriente de un río, para lo cual se describen a continuación los conceptos básicos del tema.

A pesar de que se sabe que a lo largo del año existen épocas de sequía y de lluvia que influyen en la morfología del río, la primer pregunta es acerca de conocer la cantidad de agua que circula por un punto dado del río por unidad de tiempo, lo cual se define como caudal y se relaciona con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área determinada en un tiempo dado. De la mecánica de fluidos ^[16] se obtiene la Ecuación (1) que permite calcular el caudal:

$$Q = Av \quad (1)$$

donde:

Q = caudal (m^3/s)

A = área de la sección transversal (m^2)

v = velocidad del fluido (m/s)

Las condiciones del río no son uniformes ni la profundidad ni la velocidad, ya que el cauce no es homogéneo. Por simplicidad, se hacen suposiciones que simplifican la modelación matemática. Aquí se considera que no hay pérdidas por fricción del fluido respecto a las orillas del río y que no hay turbulencias, es decir, se considera un flujo laminar [16].

Por otra parte, también se representa al flujo de agua del río como si se moviera a través de una tubería rectangular como se muestra en la Figura 1.

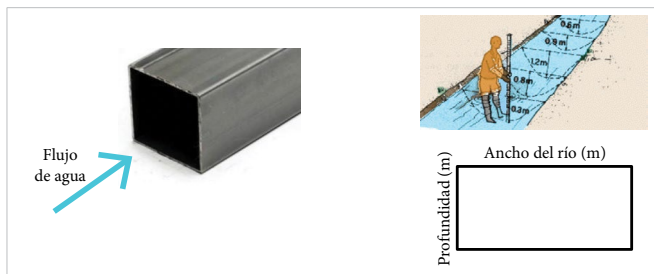


Figura 1. Flujo de agua en un río considerado como una tubería rectangular. Basada en [10].

Por tanto, las variables independientes de interés para este trabajo son: velocidad del fluido (agua dulce), profundidad de río, ancho del río y área de la sección transversal la cual se puede calcular multiplicando el ancho del río por su profundidad. La Ecuación (2) permite calcular el caudal considerando el volumen de una porción de agua por unidad de tiempo:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (2)$$

donde:

Q = caudal (m^3/s)

V = volumen (m^3)

t = tiempo (s)

La Ecuación (3) permite calcular la masa de agua que fluye por el área de la sección transversal:

$$m = \rho V \quad (3)$$

donde:

ρ = densidad del agua dulce $1000 \text{ kg}/m^3$

V = volumen (m^3)

m = masa (kg)

Si se despeja el volumen de la Ecuación (2) y se sustituye en la (3), se llega a la siguiente:

$$m = \rho Q t \quad (4)$$

Si se sustituye la Ecuación (1) en la (4), se obtiene:

$$m = \rho A v t \quad (5)$$

Dado que ya se conoce la densidad del agua dulce, y si se considera $t = 1 \text{ s}$, entonces solo resta conocer el área de la sección transversal del río y su velocidad. Por último, según la mecánica clásica [17], la energía cinética de cualquier objeto en movimiento a velocidades inferiores a la velocidad de la luz está dada por la Ecuación (6):

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2 \quad (6)$$

donde:

E_k = energía cinética (Joules)

m = masa (kg)

v = velocidad (m/s)

Por tanto, se puede calcular la energía cinética que lleva el río y conocer la cantidad de energía eléctrica que podría producirse durante el proceso de transformación.

II. METODOLOGÍA

Se empleó el Ciclo de Resolución de Problemas de Deming o PDCA (del inglés Plan, Do, Check, and Act/Adjust) para poder definir las actividades a realizar durante el desarrollo del proyecto, las cuales se describen a continuación.

PLANIFICAR

El proyecto se llevó a cabo de diciembre del 2021 a mayo del 2022 como prácticas profesionales de dos estudiantes que cursaban el décimo semestre del programa de Ingeniería Mecánica Eléctrica. Cada mes se le dio seguimiento a sus avances.

Se hizo la revisión de la literatura para definir los alcances del trabajo y la identificación de las variables a

considerar para seleccionar las comunidades y posteriormente las variables a medir. También se buscó información sobre los diferentes tipos de turbinas. De los ríos de Tamazunchale, Claro Amajac y Moctezuma, se seleccionó el Amajac, debido a que a lo largo de él hay más comunidades y mantiene un flujo más estable durante todo el año. Se hizo un recorrido por el río para identificar las comunidades donde se haría la evaluación.

HACER

Se seleccionaron tres comunidades en Tamazunchale: Tlapexhuaca Tacial, Taman y Vega Larga. Para realizar trabajos se debe solicitar autorización a las autoridades debido a que la gente de ahí no ve de buena forma que alguien llegue y empiece hacer cosas en el río. Primero se visitó primero la comunidad de Vega Larga en busca del delegado para solicitar permiso para realizar mediciones de las variables del río. Este accedió, proporcionó sus datos generales y pidió que se redactara un documento para notificar al juez de la misma comunidad.

Lo mismo ocurrió en los otros lugares. Una vez solicitados los oficios en la universidad, se comenzó el trabajo de campo. Se visitó cada uno de los lugares elegidos para identificar el tramo adecuado en el cual tomar las mediciones (profundidad del río, caudal, velocidad), tomando en cuenta la recomendación de las metodologías, los recursos disponibles, los riesgos y los materiales.

En esta etapa también se hizo una revisión de los caudalímetros existentes en la bibliografía, pero debido a los costos no se pudo adquirir uno, por lo que se buscó un método que se pudiera hacer con materiales que se tuvieran al alcance. En el web de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés) ^[10] se encontró una tabla comparativa donde se muestran varios métodos de acuerdo con las características del río a evaluar y de ahí se seleccionó el método del flotador. La metodología se describe en la [Tabla 1](#). De acuerdo con la FAO, en lo que se refiere al método del flotador:

...se miden caudales de pequeños a grandes con mediana exactitud. Conviene emplearlo más en arroyos de agua tranquila y durante períodos de buen tiempo, porque si hay mucho viento y se altera la superficie del agua, el flotador puede no moverse a la velocidad normal ^[10].

VERIFICAR

Una vez identificado el método y conseguido el material, se procedió a realizar las mediciones, las cuales se repitieron tres veces en cada tramo y con ellas se elaboraron las tablas de datos y los cálculos. El método para conocer la velocidad del río se describe en la [Tabla 1](#).

TABLA 1
DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DEL FLOTADOR PARA MEDIR EL CAUDAL DEL RÍO. BASADA EN ^[10]

ETAPA	DESCRIPCIÓN
1	Flotadores: puede ser un trozo de madera o palo, o un envase de bebida que pueda flotar dejando la punta sobre la superficie del agua, para lo cual se coloca algún material (grava, arena, etc.) en el interior.
2	El lugar de medición: se identifica una parte del río que sea lo más recta y tranquila posible, sin plantas para que no se atore el flotador. En un trayecto de 10 m, se identifican el extremo inicial (punto A) y final (punto B).
3	La velocidad media: se suelta la botella antes del punto A, moviéndose con la corriente hacia el punto B. Desde la orilla se toma el tiempo que tarda en recorrer la distancia. Se repite al menos tres veces la medición. Se determina el promedio y el error de medición. Luego se usa la fórmula de rapidez media. Para estimar la velocidad del río, la rapidez obtenida debe multiplicarse por un factor de corrección de 0.85.

ACTUAR

En esta última etapa se analizaron los resultados y posteriormente se hizo un análisis estadístico para conocer los valores promedio de estas mediciones. Se concluyó la factibilidad energética del lugar, así como el tipo de turbina hidráulica ideal para utilizarse en dicho lugar. Finalmente, se redactó el presente artículo.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CLASIFICACIÓN DE LAS TURBINAS HIDRÁULICAS

De acuerdo con ^[18], las turbinas se clasifican como sigue:

- El grado de reactividad.
- La colocación del eje.
- La dirección en la que entra el agua.

El grado de reactividad determina cómo transforman la energía potencial en cinética. En la [Tabla 2](#) se hace una descripción de las turbinas y sus rodetes por su grado

de reactividad, asociado a la diferencia de la altura de presión con el rotor y su diferencia de energía. Se utiliza el grado de reactividad tanto en turbinas como en bombas.

TABLA 2
DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DEL FLOTADOR PARA MEDIR EL CAUDAL DEL RÍO. BASADA EN ^[10]

GRADO DE REACTIVIDAD	TURBINA	CARACTERÍSTICAS
Turbinas de acción	Pelton	Se usa para caídas grandes de 50 a 400 m pero de bajo caudal (10 m ³ /s). En la circunferencia tiene palas el las que la acción del agua provoca el giro.
	Turgo	Inyección lateral es una adaptación de la Pelton, más económica, con velocidad más elevada y mayor capacidad de flujo.
	Ossberger (rueda hidráulica o <i>crossflow</i>)	Una de las más antiguas, de doble impulsión o de flujo cruzado. Los álabes se mueven en la dirección del flujo por la fuerza de arrastrada por el movimiento del agua, de poca pendiente, no requiere altura del río ya que toma el agua, la eleva y la deja caer, incrementando la energía cinética ^[20] .
Turbinas de reacción	Francis	De admisión total. Altura menos de 200 m, caudales entre 2 a 200 m ³ /s. El agua entra a un rodete con paletas. La fuerza, conforme avanza hacia la salida, va decreciendo debido a su diseño hidráulico. Mejora la potencia ^[19] .
	Kaplan	Salto de hasta 50 m, caudales de más de 15 m ³ /s. Cambia el ángulo de las cucharas durante su operación ^[20] .

En cuanto a la dirección en la que entra el flujo en el rodete, las turbinas se clasifican como axiales, radiales y mixtas.

Finalmente, las turbinas se clasifican de acuerdo a cómo se localiza el eje, como se discute a continuación.

Turbinas de eje horizontal. Las turbinas de flujo axial se clasifican en dos grupos, eje inclinado o eje recto u horizontal. Las primeras han sido diseñadas para pequeños ríos, las cuales son muy comunes en aplicaciones de energía en los ríos. Dentro de las turbinas de eje horizontal, el generador de la turbina puede estar, completamente sumergido, parcialmente sumergido, o fuera del

agua. En cuanto a diseño y concepto, tienen una gran similitud con los aerogeneradores que se utilizan hoy en día. Aunque también existen este tipo de turbinas en los ríos, la mayoría de las turbinas axiales se utilizan en corrientes marinas, las cuales suelen tener un amarre rígido o con configuraciones de generadores sumergidos.

Turbinas de flujo cruzado. Rotan perpendicularmente al flujo, no importando la dirección.

Turbinas de eje vertical. Se basan en la fuerza de sustentación y son complejas en su diseño.

RECOLECCIÓN DE LOS DATOS

Para la medición de profundidad y ancho del río se utilizó una cinta métrica donde se obtuvieron distintos valores (Figura 2) y, posteriormente, se aplicó un análisis estadístico básico para el cálculo de valores medios y la desviación estándar.



Figura 2. Medición de profundidad y ancho del río.

Para la medición de la velocidad del río se utilizó un flotador de un determinado peso, el cual recorre una distancia conocida en línea recta en diferentes partes del río. Posteriormente se cronometró el tiempo que tardó dicho flotador en desplazarse del punto A al punto B y se aplicó la Ecuación (7).

$$rapidez = \frac{distancia}{tiempo} \quad (7)$$

Un ejemplo de la zona de medición se observa en la Figura 3.



Figura 3. Mediciones de campo en la comunidad de Vega Larga.

Esta sección contiene los hallazgos de la investigación y, por tanto, se incluyen los datos relacionados directamente con la respuesta a la pregunta de investigación. En primer lugar, se realizaron mediciones de campo en tres distintos puntos por donde cruza el río Amajac: Tacial, Tamán y Vega Larga, las cuales pertenecen al municipio de Tamazunchale.

Posteriormente, se aplicó análisis estadístico para obtener los valores medios de ancho y profundidad del río, velocidad y caudal.

Finalmente, con los resultados obtenidos, considerando una densidad del agua dulce de 1000 kg/m^3 , se procedió a calcular la energía mecánica que lleva el río en cada comunidad.

RESULTADOS OBTENIDOS EN LA COMUNIDAD DE TACIAL

Los resultados obtenidos para esta comunidad son los mostrados en la [Tabla 3](#).

TABLA 3
DATOS RECOLECTADOS EN LA COMUNIDAD DE TACIAL

PARÁMETRO	VALOR
Velocidad promedio del río (m/s)	1.24
Profundidad promedio del río (m)	0.57
Ancho del río (m)	7
Área promedio del río (m ²)	4.0075
Caudal promedio (m ³ /s)	5.0045
Energía promedio (J)	3847

RESULTADOS OBTENIDOS EN LA COMUNIDAD DE VEGA LARGA

Los resultados obtenidos para esta comunidad son los mostrados en la [Tabla 4](#).

TABLA 4
DATOS RECOLECTADOS EN LA COMUNIDAD DE VEGA LARGA

PARÁMETRO	VALOR
Velocidad promedio del río (m/s)	0.6369
Profundidad promedio del río (m)	0.5083
Ancho del río (m)	9.5
Área promedio del río (m ²)	4.8291
Caudal promedio (m ³ /s)	3.0756
Energía promedio (J)	623.8

RESULTADOS OBTENIDOS EN LA COMUNIDAD DE TAMAN



Figura 4. Mediciones de campo en la comunidad de Taman.

Los resultados obtenidos para esta comunidad son los mostrados en la [Tabla 5](#).

TABLA 5
DATOS RECOLECTADOS EN LA COMUNIDAD DE TAMAN

PARÁMETRO	VALOR
Velocidad promedio del río (m/s)	0.4506
Profundidad promedio del río (m)	0.3175
Ancho del río (m)	13.5
Área promedio del río (m ²)	4.2862
Caudal promedio (m ³ /s)	1.9313
Energía promedio (J)	195.51

Por último, se realizaron tres tablas comparativas entre los diferentes tipos de turbinas hidráulicas para seleccionar la más adecuada de acuerdo con la zona de me-

dición, y los parámetros del número de palas, profundidad y revoluciones, las cuales se muestran en la [Tabla 6](#). La comparación con eficiencia, dimensiones, tipo de mantenimiento y velocidad de corriente se muestran en la [Tabla 7](#). Y en cuanto a los parámetros técnicos de operación, como la velocidad de rotación, facilidad de construcción, adaptación a ríos profundos, facilidad de conducción del generador, costos y adaptación a comunidades rurales, se considera en la [Tabla 8](#). Esta información será útil, cuando se desee seleccionar una turbina ^[19].

TABLA 6
COMPARACIÓN ENTRE TIPOS DE TURBINAS SUMERGIBLES

PARÁMETRO	I	II	III	IV	V	VI
Número mínimo de palas	4	4	3	3	3	4
Profundidad mínima requerida*	2.1	2.1	1.75	3	2.4	2.1
Revoluciones por minuto**	13.5	32	48	48	25.5	15

*Medida en metros. **A velocidad de 1 m/s. Tipo de turbinas: I = Darrieus vertical, II = Darrieus horizontal, III = Propeller inclinado, IV = Propeller horizontal, V = Propeller arrastrado, VI = Propeller sumergido.

TABLA 7
COMPARACIÓN ENTRE TIPOS DE TURBINAS HIDROKINÉTICAS

PARÁMETRO	I	II	III	IV
Eficiencia	Media	Alta	Baja	Media
Dimensiones	Grande	Mediana	Mediana	Grande
Mantenimiento	Sencillo	Complejo	Complejo	Complejo
Velocidad*	0.2-2	0.6-1.9	0.6-1.9	0.45-1.5

*De corriente, medida en m/s. Tipo de turbinas: I = Rueda hidráulica, II = turbina sumergible, III = turbina Garman, IV = turbina AquaCharger.

TABLA 8
COMPARACIÓN ENTRE TIPOS DISTINTOS DE ROTORES DE CORRIENTE LIBRE

PARÁMETRO	I	II	III	IV	V	VI
Velocidad de rotación	3	5	9	7	9	6
Facilidad de construcción	9	2	3	6	6	6
Adaptación en ríos profundos	9	8	8	6	4	8
Facilidad de conducción del generador	8	10	0	9	0	8
Costo de materiales	1	5	4	7	7	8
Compatibilidad con el medio rural	10	5	3	7	5	6

Escala utilizada: 0 = nulo o muy bajo, 10 = excelente. Tipo de turbinas: I = Rueda hidráulica flotante, II = Darrieus vertical, III = Darrieus horizontal, IV = Propeller inclinado, V = Propeller horizontal VI = Propeller sumergido a la mitad.

IV. CONCLUSIONES

En el presente trabajo, se realizó un estudio de campo en tres diferentes comunidades rurales del municipio de Tamazunchale para conocer dónde sería más viable instalar una turbina hidráulica generadora de electricidad.

Cabe mencionar que en el citado municipio no se cuenta con datos históricos y estadísticos que ayudaran a los autores en este estudio. Las mediciones son inéditas en este contexto.

Las variables de interés para este estudio fueron: velocidad del fluido (agua dulce), profundidad de río, ancho del río y área de la sección transversal. Posteriormente, con estos datos se procedió a calcular la energía cinética en cada una de las tres zonas donde se realizaron las mediciones.

Al analizar los resultados obtenidos en las Tablas 1, 2 y 3, se encontró que la mayor velocidad de corriente de río se da en la localidad de Tacial, con una energía cinética promedio de 3847 Joules.

Se encontró que en esta zona de medición la velocidad del río está muy por encima de las otras dos localidades. Sin embargo, la profundidad de río en esta localidad es muy baja (0.57 m), a una velocidad de 1.24 m/s, por lo cual no se podría utilizar ninguna de las turbinas señaladas en la [Tabla 4](#), ya que se requieren profundidades mayores. Al analizar la [Tabla 5](#), se encontró que cualquiera de las cuatro turbinas ahí presentadas podría funcionar para ser instalada en dicha localidad; por tanto, los parámetros clave para poder elegir la turbina más adecuada se eligieron en base a la [Tabla 6](#). En conclusión, y con base en la [Tabla 6](#), la localidad donde es más viable la colocación de una turbina hidráulica es Tacial, con una velocidad promedio de río de 1.24 m/s y una energía cinética promedio de 3847 Joules. La turbina ideal para esta localidad es la rueda hidráulica flotante.

En cuanto a la parte educativa, involucrar a los estudiantes en proyectos escolares orientados a atender problemáticas reales, ya sea dentro de su proceso formativo o con fines de titulación u otros requisitos como el servicio social o las prácticas profesionales, es de vital importancia, ya que permite que se formen ciudadanos empáticos con el medio ambiente y que consideren las necesidades de los menos favorecidos, buscando una

sociedad más justa y equitativa, no solo considerando los derechos humanos, sino también los de la naturaleza. Este proyecto ha sido implementado principalmente con esta finalidad. La vinculación con la comunidad, la gestión necesaria para la ejecución de los proyectos y la identificación de aspectos fundamentales hacen que un proyecto (o solución propuesta) desde la academia pueda convertirse en una realidad. Los aspectos anteriores son parte de los aprendizajes de los estudiantes que participaron en el estudio, pero que además, sirven como motivador para sus compañeros y profesores, para atreverse a dar un paso afuera de los espacios educativos.

La función social de la educación radica en formar una conciencia de responsabilidad social y colectiva, formando también vínculos entre la academia y la comunidad, a quien servimos.

La siguiente etapa del proyecto consiste principalmente en dar ese salto al buscar la implementación definitiva. De concretarse el proyecto, si bien es cierto no se dotará de grandes cantidades de energía, quedando aún otros aspectos para valorar. Pero siempre un camino largo comienza con pequeñas decisiones que con el tiempo se van volviendo grandes acciones, que es como finalmente opera la ciencia.

REFERENCIAS

- [1] G. R. Quizhpe, “Análisis de los efectos de la energía eléctrica en la calidad de vida de los habitantes y productividad industrial, Guayaquil, año 2015”, Tesis de maestría, Fac. de Ciencias Admin., Univ. de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador, 2016. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/15945>
- [2] BP p.l.c., “bp Statistical Review of World Energy”, BP p.l.c., Londres, Inglaterra, 70.^a ed., jul. 2021. Acceso: ag. 15, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-full-report.pdf>
- [3] ONU, “Objetivo 7: Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna”, UN.org, <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/> (acceso: ag. 15, 2022).
- [4] “La energía renovable llega a las aldeas más pobres del mundo gracias a las redes de enjambre”, UN.org, may. 24, 2021, <https://news.un.org/es/story/2021/05/1492372> (acceso: ag. 15, 2022).
- [5] UASLP, “Ingeniería Mecánica Eléctrica”, UASLP.mx, http://ame.uaslp.mx/secciones/carreras/plan_de_estudios.php?clvcar=05 (acceso: ag. 15, 2022).
- [6] Iberdrola México, “Segunda fase del proyecto en la Huasteca Potosina”, Iberdrolamexico.com, mar. 25, 2021, <https://www.iberdrolamexico.com/fundacion-iberdrola-mexico/luces-de-esperanza-electricidad-para-mas-de-150-familias-de-la-huasteca/#:~:text=Iberdrola México puso en marcha,de 80 millones de pesos> (acceso: ag. 15, 2022).
- [7] Banco Mundial, “Comunidades rurales alejadas de la red eléctrica logran acceso a electricidad en México”, Bancomundial.org, <https://www.bancomundial.org/es/results/2017/11/01/switching-on-remote-communities-through-electricity-access-in-mexico> (acceso: ag. 15, 2022).
- [8] Iberdrola, “¿Que son las energías limpias?”, Iberdrola.com, <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/energias-Limpias#:~:text=DEFINICIÓN DE ENERGÍAS LIMPIAS,CO2 C causantes del cambio climático. IBERDROLA> (acceso: ag. 15, 2022).
- [9] J. M. Andrade y A. Olaya, “Impactos económicos, sociales y ambientales generados por las grandes hidroeléctricas. Una revisión”, *Interciencia*, vol. 46, no. 1, pp. 19-25, 2021. Disponible en: https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2021/02/02_6537_A_Andrade_v46n1_7.pdf.
- [10] FAO, “Estimaciones del Caudal de Agua”, FAO.org, https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6705s/x6705s03.htm (acceso: en. 15, 2022)
- [11] J. A. Pérez, E. Sánchez, P. Sánchez y A. Santos, “Estimación de energía de un parque hidrocinético: caso de estudio Bahía de Banes”, *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, vol. 42, no. 1, pp. 81-94, en-mar. 2021. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v42n1/1680-0338-riha-42-01-81.pdf>
- [12] H. A. Astocaza y D. C. Albújar, “Estudio de desarrollo de un proyecto de generación hidroeléctrica”, Tesis de licenciatura, Fac. Ing. Civ., Univ. Cat. de Perú, Ing. Civ., Lima, Perú, 2019. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12404/14081>

- [13] J. E. Bonilla y R. V. Ronquillo, “Repotenciación de la pequeña central hidroeléctrica para una generación de energía en la pequeña central hidroeléctrica de Ulba en el cantón Baños”, Tesis de licenciatura, Unid. Acad. de Ciencias de la Ing. y Aplic., Ing. Eléc., Univ. Tec. de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador, 2014. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/1884/1/T-UTC-1775.pdf>
- [14] M. B. Irazusta y T. M. Reyna. (Nov. 2020). Evaluación del diseño de una micro turbina Francis. Presentado en el 8.º Congr. Int. sobre Gestión y Tratamiento Integral del Agua. Córdoba, Argentina. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/347766686_EVALUACION_DEL_DISENO_DE_UNA_MICRO_TURBINA_FRANCIS
- [15] E. Carlos, “Diseño y evaluación de un prototipo de turbina tipo Pelton para una pequeña planta hidroeléctrica”, Tesis de licenciatura, Fac. de Ciencias Fís. y Mat., Univ. Nac. Pedro Ruiz Gall, Lambayeque, Perú, 2021. Disponible en: <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/9357>
- [16] Y. Cengel y J. Cimbala, *Fluid Mechanics and Applications*, 4.ª ed. Nueva York: Mc-Graw Hill, 2018.
- [17] P. Tippens, *Física: Conceptos y Aplicaciones*, 7.ª ed. México: Mc-Graw Hill, 2011.
- [18] M. Anyi y B. Kirke, “Evaluation of small axial flow hydrokinetic turbines for remote communities”, *Energy Sustain. Dev.*, vol. 14, no. 2, pp. 110-116, jun., 2010, doi: 10.1016/j.esd.2010.02.003.
- [19] C. Cardona-Mancilla, J. Sierra del Río, E. Chica-Arrieta y D. Hincapié-Zuluaga, “Turbinas hidrocineéticas de eje horizontal: una revisión de la literatura”, *Tecnología y ciencias del agua*, vol. 9, no. 3, pp. 180-197, may.-jun., 2018, doi: 10.24850/j-tyca-2018-03-08.
- [20] M. Hazdich. (2013). *Energía hidráulica. Capítulo 7*. [Presentación]. Disponible en: <https://docplayer.es/10209460-Energia-hidraulica-capitulo-7-miguel-hazdich.html>

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a las autoridades y pobladores de las comunidades que participaron en el estudio. Así mismo, al Ing. José de Jesús Gómez Hernández y al Dr. José Fernando Chávez Vargas, por sus recomendaciones.