

Santiago Homero Cuichan-Paucar; Lizbeth Estefania Vera-Santi; Mayra Carolina Heras-Heras; Deisy Valeria Quevedo-Amay

<https://doi.org/10.35381/i.p.v6i10.3586>

Microcentrales hidroeléctricas con tecnología turbulenta para la generación de electricidad en comunidades aisladas

Micro hydroelectric plants with turbulent hydro technology for the generation of electricity in isolated communities

Santiago Homero Cuichan-Paucar

sh.cuichanp@uea.edu.ec

Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Pastaza
Ecuador

<https://orcid.org/0000-0003-0572-9880>

Lizbeth Estefania Vera-Santi

le.veras@uea.edu.ec

Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Pastaza
Ecuador

<https://orcid.org/0009-0002-2807-9294>

Mayra Carolina Heras-Heras

mheras@uea.edu.ec

Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Pastaza
Ecuador

<https://orcid.org/0000-0003-1264-5829>

Deisy Valeria Quevedo-Amay

dvquevedo@puce.edu.ec

Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Pichincha
Ecuador

<https://orcid.org/0000-0002-3782-6354>

Recibido: 15 de septiembre de 2023

Revisado: 10 de octubre de 2023

Aprobado: 15 de diciembre de 2023

Publicado: 31 de enero de 2024

Santiago Homero Cuichan-Paucar; Lizbeth Estefania Vera-Santi; Mayra Carolina Heras-Heras; Deisy Valeria Quevedo-Amay

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue realizar un análisis de microcentrales hidroeléctricas basadas en tecnología hidroeléctrica turbulenta como fuente de energía renovable. El diseño de investigación fue no experimental y nivel descriptivo. Los resultados reflejaron que la tecnología Turbulent Hydro ofrece una eficiencia del 70% al 90% de potencia al convertir la energía del agua en electricidad, produciendo un rango 5 a 70 kW en potencia con una sola turbina, lo que puede llegar a proveer de electricidad a un aproximado de 200 casas, generando una capacidad mayor del 50% en comparación con otras fuentes de energía, las cuales además de ocupar mayor espacio tienen más costos de instalación y mantenimiento. En conclusión, El costo de inversión de una micro central hidroeléctrica con tecnología Turbulent Hydro es de 750 euros o 834,64 dólares, teniendo en cuenta el rango estimado de funcionamiento de entre 15 a 30 años.

Descriptores: Electricidad; energía renovable; ingeniería hidráulica; tecnología; población rural. (Tesauro UNESCO).

ABSTRACT

The objective of the research was to carry out an analysis of micro hydroelectric plants based on turbulent hydroelectric technology as a source of renewable energy. The research design was non-experimental and descriptive level. The results showed that Turbulent Hydro technology offers an efficiency of 70% to 90% power when converting water energy into electricity, producing a range of 5 to 70 kW in power with a single turbine, which can provide electricity to approximately 200 houses, generating a capacity greater than 50% compared to other energy sources, which in addition to taking up more space have more installation and maintenance costs. In conclusion, the investment cost of a micro hydroelectric plant with Turbulent Hydro technology is 750 euros or 834.64 dollars, taking into account the estimated operating range of between 15 to 30 years.

Descriptors: Electricity; renewable energy; Hydraulic engineer; technology; rural population. (UNESCO Thesaurus).

Santiago Homero Cuichan-Paucar; Lizbeth Estefania Vera-Santi; Mayra Carolina Heras-Heras; Deisy Valeria Quevedo-Amay

INTRODUCCIÓN

Gran parte de la huella de carbono se debe a las emisiones de gases de efecto invernadero que produce el sector energético al generar electricidad y quemar combustibles fósiles (Sánchez Barboza et al., 2018). La dependencia del uso de combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas natural) como sustrato energético puede tener impactos negativos en el medio ambiente, la salud humana, el cambio climático y la disponibilidad de recursos naturales (Castro, 2006).

Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU, s.f), los combustibles fósiles son una de las principales causas del cambio climático. Estos combustibles liberan grandes cantidades de gases de efecto invernadero (76%), especialmente dióxido de carbono (90%), exacerbando el efecto invernadero y contribuyendo al cambio climático global. Además, el desarrollo e implementación de centrales eléctricas que utilicen estos combustibles puede tener impactos negativos en los ecosistemas, como la tala de árboles, afectando los ecosistemas acuáticos y terrestres.

En 2019, la generación de energía mundial alcanzó los 26.908 teravatio hora. De ello, el 62,80% (16.899 TWh) proviene de combustibles fósiles, una fuente de energía no renovable que contribuye al cambio climático. Por otro lado, el 26,81% (7.214 TWh) proviene de fuentes de energía renovables como la hidráulica, la eólica y la solar, que son más limpias y sostenibles, de las cuales el 10,39% (2.795 TWh) proviene de la energía nuclear. (Organización Latinoamericana de Energía [OLADE], 2020).

Según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, s.f.), América Latina y el Caribe todavía dependen principalmente de combustibles fósiles para generar energía. Para 2020, el 66% de la energía producida en la región provino de fuentes no renovables. La matriz energética 2020 se caracteriza por una fuerte dependencia de los combustibles fósiles, representando el 76% del total, con el petróleo (38%), el gas natural (25%) y el carbón (13%) como principales fuentes. Las energías renovables, por su parte, aportaron el 24%, siendo la hidroeléctrica la más importante con un 12%, seguida de

Santiago Homero Cuichan-Paucar; Lizbeth Estefania Vera-Santi; Mayra Carolina Heras-Heras; Deisy Valeria Quevedo-Amay

otras fuentes como el biogás, la solar, la eólica, los residuos vegetales y los productos de la caña de azúcar y la leña, que sumaron otro 12%. Este panorama implica el desafío de diversificar la matriz energética y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2021).

En Ecuador, el Ministerio de Energía y Minas (2021) reporta que los combustibles fósiles han sido la principal fuente de energía utilizada en el país entre 2011 y 2021, representando en promedio el 80,1% de la demanda total. Entre ellos, la gasolina y el diésel son los mayores emisores de demanda, con incrementos del 25,1% y el 16,9% respectivamente. Además, durante el mismo período, la demanda de electricidad aumentó significativamente, un 52,2%, mientras que la demanda de gas licuado de petróleo (GLP) como fuente de energía para la cocina también aumentó significativamente. Un aumento del 23,2%.

En 2008, Ecuador lanzó una serie de medidas destinadas a mejorar la eficiencia energética y promover el desarrollo y la adopción de fuentes de energía renovables para reducir la dependencia de la energía de combustibles fósiles (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], 2018). El país es conocido por su entorno natural diverso, que encierra un gran potencial para el desarrollo de diferentes fuentes de energía sostenibles. Aprovechando esta riqueza natural, Ecuador se está consolidando como un país con potencial para transformar su matriz energética, optando por alternativas más limpias y sostenibles.

Según el análisis de Guastay y Llanes (2020), entre 2009 y 2017, Ecuador implementó la estrategia “Transformación de la Matriz Energética”. Los resultados de esta iniciativa han sido espectaculares: la generación de energía hidroeléctrica ha crecido un 20% en sólo ocho años, representando entre el 51% y el 71% de la producción eléctrica total del país. Este crecimiento trae consigo una serie de beneficios, incluidos ahorros significativos en el consumo de energía de combustibles fósiles, lo que ayuda a reducir la dependencia de estos recursos y conduce a reducciones significativas de las emisiones de gases de

Santiago Homero Cuichan-Paucar; Lizbeth Estefania Vera-Santi; Mayra Carolina Heras-Heras; Deisy Valeria Quevedo-Amay

efecto invernadero.

Las microcentrales hidroeléctricas para la generación de electricidad en Ecuador son una solución alternativa, ya que la tecnología de recolección de energía a pequeña escala tiene un gran potencial para utilizar fuentes limitadas de agua a pequeña escala. Además, por su diseño y mecanismo de operación, el sistema tiene un impacto mínimo en el medio ambiente (Muñoz Andrade, 2019). Estos ofrecen importantes ventajas sobre las fuentes de energía tradicionales. En primer lugar, no produzca contaminantes atmosféricos nocivos como los que se liberan al quemar combustibles fósiles; en segundo lugar, no consumir ni dañar el medio ambiente.

La energía hidroeléctrica es una de las formas más limpias y renovables de generar electricidad, pero tiene la desventaja de requerir ingeniería o infraestructura a gran escala para alterar los ecosistemas fluviales. Sin embargo, existe una innovación que permite aprovechar el flujo natural del agua sin tener demasiado impacto en el medio ambiente: las hidroturbinas turbulentas. Estas turbinas consisten en un dispositivo circular instalado en el flujo natural del río, creando vórtices en forma de remolinos que hacen girar el generador, y pueden funcionar solas o en conjunto con otras turbinas. De esta manera se puede recolectar electricidad del agua del río, además, estas turbinas son más eficientes que las tradicionales porque pueden adaptarse a diferentes flujos y profundidades y no afectan la vida acuática como otras turbinas. Las turbinas de flujo turbulento son una tecnología sostenible y económica para producir energía verde a partir del agua (Kumar, 2020).

Este trabajo se centra en el análisis de microcentrales hidroeléctricas basadas en tecnología hidroeléctrica turbulenta como fuente de energía renovable y propone especificaciones técnicas que describen las características básicas de las microcentrales hidroeléctricas; así como su diseño y funcionalidad, estableciendo los parámetros a considerar en las áreas de posible implementación, evaluar los impactos ambientales y

Santiago Homero Cuichan-Paucar; Lizbeth Estefania Vera-Santi; Mayra Carolina Heras-Heras; Deisy Valeria Quevedo-Amay

determinar la eficiencia de generación de energía y los costos asociados al proceso de instalación.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo de investigación se realizará en base a un diseño no experimental, considerando que el tema de investigación tiene un sustento teórico, se procederá a realizar una investigación de tipo descriptivo y exploratorio dada la circunstancia del tema.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Micro central hidroeléctrica a partir de la tecnología Turbulent Hydro

Turbulent Hydro representa una nueva tecnología sostenible y novedosa, sus turbinas de microvórtice pueden proporcionar un suministro constante de energía eléctrica las 24 horas del día, los 7 días de la semana, durante todo el año. Estas turbinas están diseñadas específicamente para su uso en corrientes naturales de bajo caudal, como ríos, arroyos o canales, lo que las hace altamente eficientes y confiables (Designboom, 2023).

Según Turbulent (2022), la turbina de vórtice es una tecnología amigable con la fauna acuática, ya que su impulsador de RPM lento ejerce un bajo esfuerzo sobre las palas, lo que garantiza que los peces puedan pasar ilesos. El sistema está premontado y se transporta fácilmente a su sitio, lo que facilita su instalación, y cuenta con una vida útil de hasta 30 años aproximadamente. También es importante destacar que estas turbinas no obstruyen el flujo normal de agua, eliminando por completo los riesgos de inundaciones. Hatata et al. (2019), menciona que los sistemas hidroeléctricos a microescala poseen la flexibilidad de ser adaptados a la infraestructura existente generando un valor agregado, en la producción de energía renovable, de inmuebles y otras construcciones. De esta forma la tecnología Turbulent Hydro pueda trabajar con materiales del lugar donde se emplea la micro central hidroeléctrica.

Santiago Homero Cuichan-Paucar; Lizbeth Estefania Vera-Santi; Mayra Carolina Heras-Heras; Deisy Valeria Quevedo-Amay

Diseño y funcionalidad de la micro central hidroeléctrica

El diseño de la tecnología Turbulent Hydro cuenta con una sola pieza móvil que requiere muy poco mantenimiento y una malla de filtro que impide que las partículas ingresen a la turbina (Figura 1). Estas turbinas son conocidas por su diseño compacto y modular, capaces de producir energía de manera económica y sostenible, utilizando componentes adaptables que son fáciles de transportar. Cuenta con componentes de menor tamaño que otras opciones disponibles en el mercado y están equipadas con hélices y software especializado que les permiten funcionar eficazmente incluso en presencia de sedimentos y suciedad (Ideass, s.f).

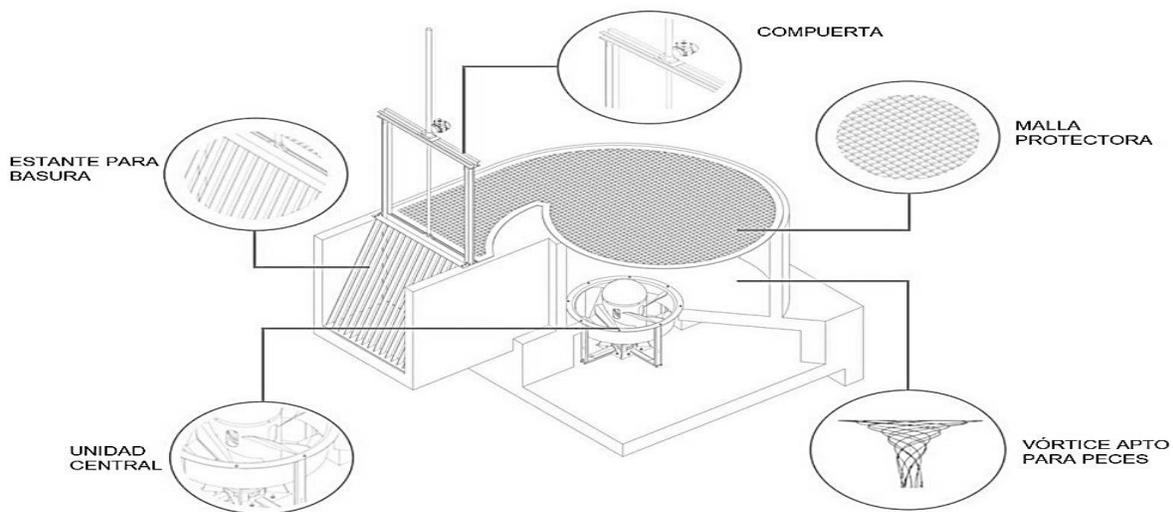


Figura 1. Diseño del sistema micro hidráulico.

Fuente: Turbulent (2022).

Leyenda:

Estante para Basura: Es una rejilla protectora para basura de gran tamaño. Es diseñada para permitir el paso de los residuos pequeños, mientras evita que los objetos grandes obstruyan el sistema de drenaje.

Unidad central: Generador y transmisión de alta eficiencia.

Santiago Homero Cuichan-Paucar; Lizbeth Estefania Vera-Santi; Mayra Carolina Heras-Heras; Deisy Valeria Quevedo-Amay

Compuerta: Compuerta automatizada para control de flujo.

Malla protectora: Impide el ingreso de objetos o materiales de gran tamaño que puedan dañar la turbina. Esta malla es resistente y fácil de limpiar, garantiza el funcionamiento óptimo.

Vórtice apto para peces: La cuenca tiene una forma especial que transforma el flujo que entra en un remolino de baja presión, lo que permite que los animales acuáticos pasen sin daño.

La micro central hidroeléctrica utiliza una pequeña presa o desviador para dirigir el agua a través de una tubería en la que se encuentra la turbina. Es importante destacar que el nivel del caudal y la disponibilidad de corriente pueden influir en el diseño de la instalación (Figura 2), por lo que es necesario realizar un análisis previo del cauce del río o canal para determinar la forma más adecuada de instalación.

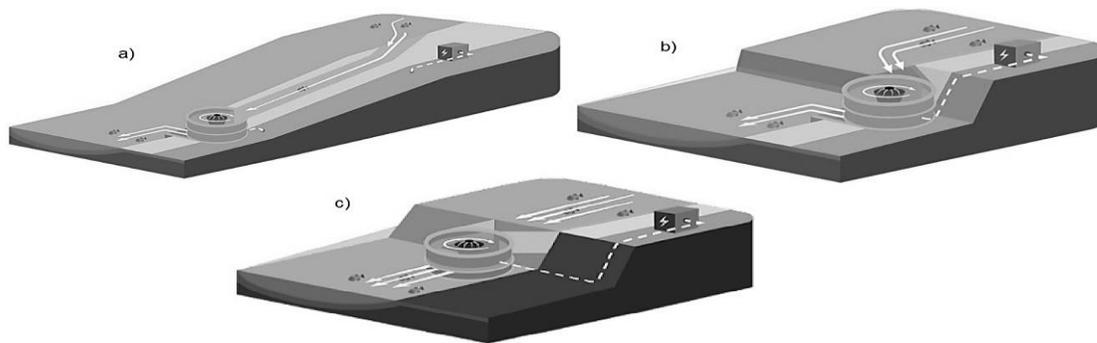


Figura 2. Tipos de instalación.

Fuente: APUNTES (2018).

El flujo de agua se dirige a través de un camino de concreto optimizado que conduce el agua como un vórtice (Figura 3), lo que proporciona la energía necesaria para hacer girar las aspas de un generador. Después de pasar por la turbina, el agua regresa al río o canal. La energía producida puede ser conectada directamente al consumidor o a la red de distribución nacional simultáneamente (EcolInventos, 2022).

Santiago Homero Cuichan-Paucar; Lizbeth Estefania Vera-Santi; Mayra Carolina Heras-Heras; Deisy Valeria Quevedo-Amay

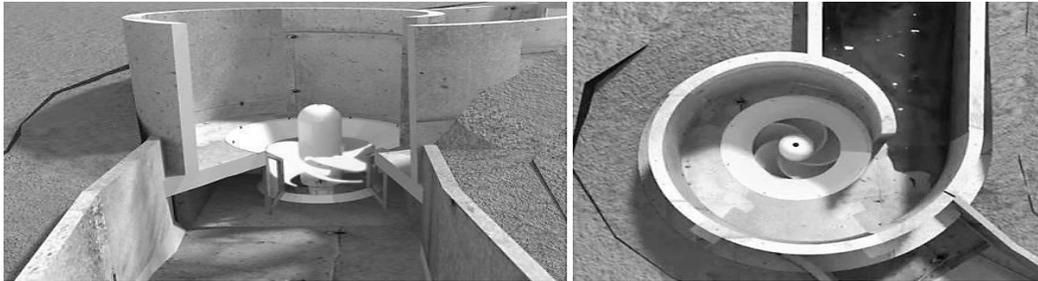


Figura 3. Modelo de funcionamiento.
Fuente: APUNTES (2018).

Una de las ventajas de las turbinas hidráulicas Turbulent es su capacidad para ser instaladas en comunidades o áreas remotas que no tienen acceso a una red eléctrica establecida. Además, su diseño modular permite la instalación de múltiples unidades en serie (Figura 4), para aumentar la capacidad de generación de energía según las necesidades específicas del lugar.

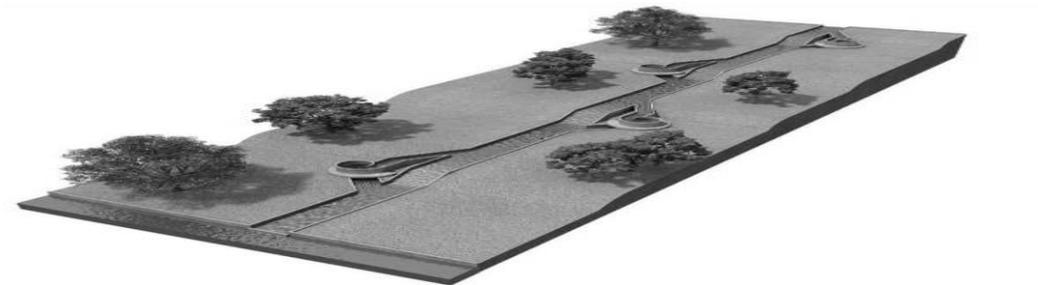


Figura 4. Instalación de múltiples turbinas en serie.
Fuente: EcolInventos (2022).

El material utilizado en la fabricación de Turbulent Hydro puede variar según las condiciones específicas del área. El lavabo puede estar construido de diferentes materiales, como metal o de ladrillo y mortero, mientras que el cubo del impulsor puede ser de hierro fundido, acero inoxidable o puro. Antes de decidir qué materiales son los

Santiago Homero Cuichan-Paucar; Lizbeth Estefania Vera-Santi; Mayra Carolina Heras-Heras; Deisy Valeria Quevedo-Amay

más adecuados para el proyecto, se debe inspeccionar cuidadosamente la ubicación del proyecto (Kumar, 2020).

Especificaciones técnicas de los parámetros

Es fundamental tener en cuenta el caudal y la diferencia de altura para la generación de electricidad a través de la energía hidroeléctrica, ya que son parámetros esenciales que permiten la selección del sitio de instalación. Con la obtención de estos dos parámetros se puede estimar el potencial hidroeléctrico, además, se pueden obtener datos relacionados a la central como: volumen de construcción, tamaño del canal, tamaño de la turbina y la potencia de salida (Turbulent, 2022).

Según Kumar (2020), aunque la estructura del sistema variará según las condiciones en el lugar seleccionado para la instalación, se deben considerar ciertas especificaciones mínimas a considerar del sitio donde se planea implementar la turbina:

La profundidad del río para la instalación del sistema debe llegar por lo menos de 1,5 a 5 metros. El caudal debe ser como mínimo de 1 metro cúbico por segundo, además de que esta cifra debe estar disponible durante al menos 9 meses consecutivos. Facilidad de ingreso por medio de carretera para un posible acceso al sitio. En una instalación conectada a la red, se debe asegurar que la distancia entre la turbina y la línea de conexión no exceda los 200 metros.

Debido a la naturaleza de flujo abierto de la turbina de vórtice, es crucial seleccionar cuidadosamente la combinación que garantice el mejor rendimiento en el diseño y en las operaciones de flujo parcial en cada sitio. Como se demuestra en la Tabla 1, las dimensiones estándar del impulsor de la turbina varían de 1,3 a 1,9 metros. Además, la potencia eléctrica estándar oscila entre 15 y 70 kW. Por lo tanto, es importante tener en cuenta estas especificaciones al seleccionar la combinación adecuada de altura de caída y caudal para cada sitio (Turbulent, 2022).

Santiago Homero Cuichan-Paucar; Lizbeth Estefania Vera-Santi; Mayra Carolina Heras-Heras; Deisy Valeria Quevedo-Amay

Tabla 1.
Especificaciones mínimas y máximas de los parámetros.

	Rango estándar	Mínimo	Máximo	Unidad
Flujo		1.5	4.7	m ³ /s
Altura (canal de entrada al nivel de agua)		1.4	2.7	m
Eficiencia hidráulica en BEP		0.65	0.75	-
Profundidad de agua requerida en el canal de entrada		1.3	2.3	m
Diámetro del impulsor		1.3	1.9	m
Velocidad de rotación del impulsor		40	100	rpm

Fuente: Turbulent (2022).

Impacto ambiental en el desarrollo de un sistema micro hidroeléctrico

Las micro centrales hidroeléctricas suelen utilizar sistemas de bajo impacto ambiental, como el de agua fluyente. En este tipo de sistema, el agua pasa a través de un generador y luego retorna al flujo principal, lo que produce un mínimo impacto en el ambiente (Reyna et al., 2017).

La turbina de vórtice de Turbulent Hydro genera una energía limpia y sostenible con el ambiente, la población y la vida acuática. Su objetivo es minimizar el impacto negativo en fuentes hídricas y su entorno, con el fin de mejorar la calidad de los ríos (Turbulent, 2022). A diferencia de las grandes centrales hidroeléctricas, que generan un impacto ambiental negativo debido a las enormes estructuras y obras civiles generadas en su construcción y funcionamiento, la micro central hidroeléctrica de Turbulent Hydro es altamente eficiente en términos económicos y tiene un impacto mínimo en el medio ambiente. Esto la hace amigable con el planeta y, al mismo tiempo, proporciona un gran beneficio eléctrico a bajo costo (Cofre, 2021). Las micro centrales hidroeléctricas Turbulent están encaminadas a la generación de energía eléctrica verde cumpliendo los objetivos de desarrollo sostenible (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2022):

Santiago Homero Cuichan-Paucar; Lizbeth Estefania Vera-Santi; Mayra Carolina Heras-Heras; Deisy Valeria Quevedo-Amay

Objetivo 7. Energía asequible y limpia: Garantizar el acceso a energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos. La tecnología de Turbulent Hydro o turbinas de vórtice cumple con este requisito debido a que no genera daños ecológicos, no genera CO₂ y no desarrolla grandes obras de infraestructura que afecten al entorno. Objetivo 9 Industria, innovación e infraestructura: Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación. La tecnología Turbulent Hydro genera energía hidroeléctrica desde una perspectiva innovadora como una solución resiliente, no tiene la necesidad de construir presas o embalses. Además, requiere una obra civil o infraestructura mínima y tiene la capacidad de suministrar energía directamente en el lugar de consumo.

Objetivo 11. Ciudades y comunidades sostenibles: Hacer que las ciudades y comunidades humanas sean inclusivos, sostenibles, seguras y resilientes. Las turbinas Turbulent está diseñada considerando especialmente a las comunidades remotas o alejadas que proporciona una fuente de energía sostenible, continua y rentable, lo que les permite desarrollarse a un ritmo más rápido. Objetivo 13 Acción por el clima: Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos. En este contexto la energía hidroeléctrica se destaca como un recurso renovable fiable. La turbina Turbulent o turbina de vórtice son micro centrales que no necesitan presas o embalses para la generación de energía por lo presentan un impacto ambiental mínimo, ya que aprovechan la energía de ríos o canales y no producen dióxido de carbono (CO₂) y otros gases de efecto invernadero a la atmosfera.

Objetivo 14 Vida bajo el agua: Asegurar la conservación y sostenibilidad de los ecosistemas de océanos, los mares y ríos. Las poblaciones de peces deben mantenerse en niveles biológicamente sostenibles. Con una inspiración proveniente de la naturaleza, la tecnología de vórtice permite que los peces atraviesen sin sufrir daños, preservando así el equilibrio del ecosistema mientras genera energía de manera constante.

Santiago Homero Cuichan-Paucar; Lizbeth Estefania Vera-Santi; Mayra Carolina Heras-Heras; Deisy Valeria Quevedo-Amay

Eficiencia de generación eléctrica

La potencia instalada de las micro centrales hidroeléctricas presentan un rango de 1 a 100 kW (Reyna et al., 2017), además de una eficiencia alta del 70% - 90% y una capacidad mayor del 50 % a comparación de la energía eólica con el 30% y 10% para la energía solar. El total máximo de potencia se da en épocas de invierno (Nasir, 2014). La eficiencia de las turbinas de vórtice según Turbulent (2022), es del 60%, lo que significa en su capacidad para convertir alrededor del 60% de la energía contenida en el agua en electricidad utilizable. Según Pascual (2020), la tecnología Turbulent Hydro cuenta con modelos de diferentes tamaños, siendo el más pequeño capaz de generar una potencia de 5 a 70 kW, lo que equivale a un total de 40.000 a 240.000 kWh por año, suficiente para abastecer de electricidad hasta 200 casas. Por otro lado, el modelo más grande alcanza los 200 kW, generando un total de 1.600.000 kWh al año. Además, se menciona que estos modelos ya han sido implementados con éxito en núcleos rurales de Bélgica, Francia, Chile, Indonesia y otros países.

En Donihue, Chile se implementó la turbina de vórtice de Turbulent Hydro para una granja de avicultura local que proporciona energía de 15 kW las 24 h y los 7 días a la semana con un caudal de 1,65 m³/s a una altura de 1,7 m que tiene la capacidad de traspasar arena y restos de piedra con diámetro de hasta 10 cm. Otro caso de la implementación es el condado de Yilan, Taiwan activa desde el 2022 que genera una potencia de 100 kW con un caudal nominal de 5,8 m³/s y altura neta de 3,3 m (Turbulent, 2022). La implementación de la turbina de vórtice en la Amazonía sería ventajoso debido a las altas precipitaciones que genera por el clima tropical muy húmedo, para lo cual su potencia de generación eléctrica sería máxima para abastecer a una comunidad entera.

Costos asociados a un proceso de instalación

Un proyecto de la micro central hidroeléctrica con la tecnología Turbulent Hydro tiene un costo de inversión de 750 euros (moneda europea), lo que equivale a uno 834,64

Santiago Homero Cuichan-Paucar; Lizbeth Estefania Vera-Santi; Mayra Carolina Heras-Heras; Deisy Valeria Quevedo-Amay

dólares americanos o mil dólares por turbina, este valor fue determinada por la empresa Turbulent creadores de esta tecnología, donde incluye los siguientes servicios (Turbulent, 2022):

Pre-estudio: Evaluación primaria del sitio de estudio; diseño e instalación de la turbina y el sistema eléctrico; capacitación y asesoramiento técnico para el mantenimiento que incluye el cambio de aceite y revisiones de fugas y ruido, incluido la comprobación de armarios eléctricos, reemplazos de sellos; garantía de dos años y soporte remoto; certificado de calidad y seguridad. La tecnología Hydro Turbulent tiene una larga una duración para el aprovechamiento de la energía hidráulica. Con un mantenimiento adecuado, el sistema puede funcionar entre un rango estimado de 15 a 30 años sin problemas. El valor base de 834,64 dólares por turbina incluye los gastos de instalación, operación y mantenimiento.

Según la empresa Turbulent (2022), que desarrolla micro centrales hidroeléctricas manifiesta que el costo de energía esta entre 0,03 y 0,08 USD/kWh. Esto se debe al aprovechamiento de la energía verde al 100%, que se genera a partir del flujo natural del agua sin necesidad de represas ni embalses. Teniendo cuenta lo mencionado anteriormente, esta tecnología tiene un costo de energía más bajo del mundo comparando con el costo de energía proveniente de fuentes fósiles. Un ejemplo claro es en Ecuador, que todavía utiliza energía eléctrica proveniente de los combustibles fósiles. Según la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNR, 2022) el servicio eléctrico es 9,2 USD/kWh en este país.

CONCLUSIONES

La micro central hidroeléctrica de la tecnología Turbulent Hydro, tiene un diseño con una sola pieza móvil que requiere muy poco mantenimiento, lo que la hace una opción económica y sostenible. Es importante tener en cuenta que el material utilizado en la fabricación de Turbulent Hydro puede variar según las condiciones específicas del área.

Santiago Homero Cuichan-Paucar; Lizbeth Estefania Vera-Santi; Mayra Carolina Heras-Heras; Deisy Valeria Quevedo-Amay

Para asegurar la efectividad de la instalación del sistema, es fundamental tener en cuenta el caudal y la diferencia de altura, ya que permiten determinar los datos relacionados a la central y el potencial eléctrico. Además, se requiere una profundidad del río de al menos 1,5 a 5 metros y un caudal mínimo de 1 metro cúbico por segundo, disponible durante al menos 9 meses consecutivos, con estas especificaciones en mente se puede seleccionar el sitio más adecuado para la instalación del sistema. Las dimensiones estándar del impulsor de la turbina varían de 1,3 a 1,9 metros, mientras que la potencia eléctrica estándar oscila entre 15 y 70 kW.

La turbina de vórtice se destaca por su diseño ecológico y amigable con la fauna acuática, especialmente con los peces. Además, es una fuente de energía limpia y sostenible que busca minimizar el impacto negativo en las fuentes hídricas y su entorno, contribuyendo a mejorar la calidad de los ríos. Gracias a su enfoque sostenible con la naturaleza, esta tecnología no genera un alto impacto en los cuerpos de agua durante su desarrollo e implementación, lo que la convierte en una opción prometedora para una generación de energía más respetuosa con el ambiente.

La tecnología Turbulent Hydro ofrece una eficiencia del 70% al 90% de potencia al convertir la energía del agua en electricidad, lo que resulta en una producción de energía en un rango de 5 a 70 kW en potencia con una sola turbina, lo que puede llegar a proveer de electricidad a un aproximado de 200 casas, generando una capacidad mayor del 50% en comparación con otras fuentes de energía, las cuales además de ocupar mayor espacio tienen más costos de instalación y mantenimiento.

El costo de inversión de una micro central hidroeléctrica a partir de la tecnología Turbulent Hydro es de 750 euros, lo que equivale a 834,64 dólares americanos o mil dólares por turbina, teniendo en cuenta el rango estimado de funcionamiento de entre 15 a 30 años. Además de que este tipo de sistema destaca por su durabilidad y bajo costo de instalación, operación y mantenimiento, los cuales vienen integrados al pago inicial. Comparado con los costos que provienen de la generación de energía a través de

Santiago Homero Cuichan-Paucar; Lizbeth Estefania Vera-Santi; Mayra Carolina Heras-Heras; Deisy Valeria Quevedo-Amay

combustibles fósiles, la tecnología Turbulent Hydro tiene un costo de energía más bajo y amigable con el medio ambiente.

FINANCIAMIENTO

No monetario.

AGRADECIMIENTO

A los colaboradores y equipo técnico que apoyaron la investigación.

REFERENCIAS CONSULTADAS

Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (2022) Las tarifas de energía eléctrica no se incrementarán en el 2022. [Electricity rates will not increase in 2022]. <https://n9.cl/ez4j0>

Apuntes. (2018) La turbina vórtice una nueva manera de generar electricidad a partir de las corrientes de agua - Donihue Chile. [The vortex turbine a new way to generate electricity from water currents - Donihue Chile]. <https://n9.cl/lrcx1>

Castro, A. (2006) Minicentrales hidroeléctricas. [Mini hydroelectric plants]. <https://n9.cl/e3m5>

Cofre, E. (2021) Diseño de un sistema de abastecimiento de energía eléctrica con el uso de energías alternativas como la hidráulica en viviendas unifamiliares en la parroquia de Montalvo del cantón Ambato, provincia de Tungurahua.[Design of an electrical energy supply system with the use of alternative energies such as hydraulics in single-family homes in the parish of Montalvo of the Ambato canton, province of Tungurahua]. (Tesis Pregrado). Universidad Técnica de Ambato. <https://n9.cl/mlijs>

Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2021) Transición Energética en América Latina y el Caribe. [Energy Transition in Latin America and the Caribbean]. <https://n9.cl/0igbv>

Designboom. (2023) Turbulent electrifica lugares remotos con turbinas de vórtice de bajo mantenimiento. [Turbulent electrifies remote locations with low-maintenance vortex turbines]. <https://n9.cl/dp29u>

Santiago Homero Cuichan-Paucar; Lizbeth Estefania Vera-Santi; Mayra Carolina Heras-Heras; Deisy Valeria Quevedo-Amay

- EcolInventos. (2022) Turbulent, la minicentral hidroeléctrica capaz de abastecer hasta 500 hogares. [Turbulent, the mini hydroelectric plant capable of supplying up to 500 homes]. <https://n9.cl/qmblij0>
- Guastay, W., y Llanes, E. (2020) El uso de la energía hidráulica para la generación de energía eléctrica como estrategia para el desarrollo industrial en el Ecuador.[The use of hydraulic energy for the generation of electrical energy as a strategy for industrial development in Ecuador]. *Universidad, Ciencia y Tecnología*, 24(104), 28-35. <https://n9.cl/yjxks>
- Hatata, A., El-Saadawi, M., y Saad, S. (2019) A feasibility study of small hydro power for selected locations in Egypt. *Energy Strategy Reviews*, 24, 300-313. <https://n9.cl/lzo4ix>
- Ideass. (s.f) Planta micro hidroeléctrica creada en Bélgica para aprovechar la energía renovable de las corrientes de poca altura.[Micro hydroelectric plant created in Belgium to take advantage of renewable energy from low-lying streams]. <https://n9.cl/lzwx3>
- Kumar, P. (2020) Turbulent Hydro – A Whole New Level of A Hydropower Plant. All Sustainable Solutions. <https://n9.cl/60f8qw>
- Muñoz Andrade, J. S. (2019) Estudio de pre factibilidad para proyecto de turbinas sumergibles de generación.[Pre-feasibility study for submersible generation turbine project]. (Trabajo de grado). Universidad de Cuenca. <https://n9.cl/6pv8p>
- Nasir, B. A. (2014) Design Considerations of Micro-hydro-electric Power Plant. *Energy Procedia*, 50, 19-29. <https://n9.cl/ingu0>
- Organización de las Naciones Unidas. (2022) Objetivos del Desarrollo Sostenible. [Sustainable Development Goals]. <https://n9.cl/ybgd>
- Organización de las Naciones Unidas. (s.f) Causas y efectos del cambio climático. [Causes and effects of climate change]. <https://n9.cl/ymeyu>
- Organización Latinoamericana de Energía. (2020) Generación eléctrica mundial y para América Latina y el Caribe (ALC) y su impacto en el sector. [Global electricity generation and for Latin America and the Caribbean (LAC) and its impact on the sector]. <https://n9.cl/k6d3e>

Santiago Homero Cuichan-Paucar; Lizbeth Estefania Vera-Santi; Mayra Carolina Heras-Heras; Deisy Valeria Quevedo-Amay

Pascual, J. (2020) La hidroturbina que genera electricidad creando un vórtice en cualquier acequia. [The hydroturbine that generates electricity by creating a vortex in any irrigation ditch]. <https://n9.cl/68dv2>

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2018) Plan Nacional de Energía Renovable y Eficiencia Energética del Ecuador (MEE). [National Renewable Energy and Energy Efficiency Plan of Ecuador (MEE)]. <https://n9.cl/861pi>

Reyna, T., Reyna, S., Lábaque, M., Riha, C., y Góngora, C. (2017) Desafíos ambientales es para uso de la hidrogenación.[Environmental challenges is for the use of hydrogen generation]. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 8(3), 1-12. <https://n9.cl/wap52>

Sánchez Barboza, L., Pérez Pineda, R. E., y Vásquez Stanescu, C. (2018) Eficiencia de países desarrollados en el control del uso de combustibles fósiles para generar energía.[Efficiency of developed countries in controlling the use of fossil fuels to generate energy]. *ECOCIENCIA*, 4(2), 58-71. <https://n9.cl/wjhal>

Turbuent. (2022) 15 - 70 kW HFLH Vortex Turbine. <https://n9.cl/d897p>