

IMPLEMENTACIÓN DE UN MICRO GENERADOR DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA

Zoccali J.², Zoccali N.², Ponzoni L.^{1, 2, 3}, Sframeli V.², Lopez Colmenares K.², Zanini O.², Roldos A.², Nuñez T.², Zijlstra A.², Artaza M.¹, Tacone V.¹, Quinteros L.¹, Ludueña A.¹

Universidad Nacional de Tres de Febrero¹
Universidad Provincial del Sudoeste²
Comisión Nacional de Energía Atómica³

RESUMEN

En el siguiente artículo se tratará el diseño y construcción de un microgenerador hidroeléctrico para instalar en el segundo arroyo de la ciudad de Tres Arroyos. El diseño está basado en una micro turbina de origen japonés, llamado "PicoPica", equipo de generación de energía hidráulica con potencial para ser dispuesto en áreas no electrificadas. Esta readecuación de la turbina será diseñada con el software CAD/CAE de SolidWorks®, para ser luego impresa como prototipo en impresión 3D con materiales de bajo impacto ambiental.

ABSTRACT

The following article will present the design and construction of a micro-hydraulic power unit to be implemented in the second stream of the city of Tres Arroyos. The design is based on a micro-turbine invented in Japan, called "PicoPica", a power generation equipment which has potential to be installed in non-electrified areas. This retrofit of the turbine will be modeled with SolidWorks® CAD / CAE software, to be later printed as a prototype in 3D printing with materials with low environmental impact.

PALABRAS CLAVE

Energía Hidroeléctrica / Renovable / Electricidad / Turbina

KEY WORDS

Hydroelectric power / Renewable / Electricity / Turbine

CONTEXTO

En el siguiente artículo se presentará el proyecto de generación de energía hidroeléctrica, el cual tiene como objetivo el diseño, construcción e instalación de una turbina del tipo Arquímedes adaptada a las necesidades de la localidad de Tres Arroyos. La intención de este proyecto es llegar al diseño óptimo y construcción de una máquina motora utilizando materiales de bajo costo económico y mínimo impacto ambiental. Algunos materiales a utilizar son los polímeros PETG Tereftalato de Polietileno "PETG" de origen reciclado y el Ácido Poliláctico "PLA" biodegradable, ambos de fabricación nacional. Con esto se busca disminuir el consumo de energía eléctrica de red y contribuir al desarrollo de la comunidad implementando nuevos métodos de generación que aprovechen los recursos del ambiente pero que no necesariamente impliquen un impacto negativo en el mismo.

Participan en el proyecto en cuestión estudiantes y docentes de la Tecnicatura universitaria en gestión de energías renovables y convencionales de la Universidad Provincial del Sudoeste (UPSO), el grupo de investigación de AeroMat de la Universidad Nacional de Tres de Febrero y la Comisión Nacional de Energía Atómica.

INTRODUCCIÓN

El acceso a la energía recibe cada vez más atención a nivel mundial ya que se trata de un elemento fundamental para el desarrollo de la población. En 2015 Naciones Unidas adoptó los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) como un llamado universal a la acción para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que para el año 2030 todas las personas disfruten de paz y prosperidad. Los ODS cuentan con diecisiete objetivos, el séptimo propone la energía asequible y no contaminante. Para lograr el punto número siete, según la información de Naciones Unidas, es necesario invertir en fuentes de energía limpia, como la solar, eólica y térmica y mejorar la productividad energética. Garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos implica una expansión de la infraestructura y mejoras en el sector tecnológico para así contar con energía limpia en todos los países en desarrollo. El acceso a la energía limpia es fundamental para los tres pilares del desarrollo sostenible: el económico, el social y el ambiental. En la actualidad, cerca de 1000 millones de personas aún viven sin electricidad, y cientos de millones más viven con un suministro insuficiente o poco confiable. Al mismo tiempo, aproximadamente 3000 millones de personas utilizan combustibles contaminantes o biomasa para cocinar o calefaccionar sus viviendas, lo que genera contaminación del aire en espacios abiertos y cerrados, lo que tiene impactos generalizados tanto en la salud como en el ambiente. Además, hay que contemplar que junto al crecimiento de la población mundial, también lo hará la demanda de energía accesible, y una economía global basada y dependiente de los combustibles fósiles está generando cambios drásticos en nuestro clima.

La energía obtenida a partir de la combustión de hidrocarburos causa grandes problemas en el medio ambiente debido al aumento creciente y exponencial de las emisiones de gases de efecto invernadero. El aumento de emisiones significa una gran contribución para el calentamiento global el cual, supone una elevación de la temperatura media de la Tierra y del agua que la recubre. El efecto invernadero es una de las principales causas del calentamiento global, lo que contribuye a la existencia de una crisis climática global.

Las energías renovables se definen como aquellas que se obtienen de fuentes naturales inagotables, ya sea por la gran cantidad de energía que contienen o por ser capaces de regenerarse por medios naturales. Éstas, además, contribuyen a mejoras en distintos aspectos del desarrollo sostenible: el económico, el social y el ambiental [1]. Es por esta razón que es urgente comenzar a reemplazar estos procesos altamente contaminantes por energías renovables, no solo porque implican un menor impacto ambiental sino que también representan ventajas en el sentido económico y social si se las compara con las energías basadas en combustibles fósiles.

Otro de sus beneficios es el hecho de que relajan la restricción externa ya que Argentina en la actualidad no logra el autoabastecimiento de gas ni de petróleo, debiendo recurrir a importaciones de ambos energéticos para satisfacer la demanda interna. En nuestro país, más del 60% de la electricidad se produce en centrales térmicas, siendo aproximadamente un tercio generada con fuel oil, diésel y carbón, y los dos tercios restantes por gas natural (menos contaminante que el resto de los combustibles fósiles).

Las energías renovables tienen casi nula emisión de gases de efecto invernadero durante la etapa de funcionamiento; no obstante, las emisiones también son menores en las fases anteriores y posteriores a esa etapa, y significativamente inferiores a lo que se emite durante el ciclo de vida de las plantas generadoras que utilizan fuentes fósiles. Esas plantas, además de emitir gases de efecto invernadero, emiten otros contaminantes como los óxidos de nitrógeno y de azufre, el mercurio, el monóxido de carbono, las partículas y otros. Además, contamos con las emisiones que genera el transporte destinado a abastecerlas, y se incrementan aún más si el insumo debe transportarse abarcando grandes distancias.

Entre los diferentes tipos de energías renovables encontramos los siguientes: energía hidráulica, energía eólica, energía solar, energía geotérmica, energía mareomotriz, energía de la biomasa. En los sistemas de energía hidroeléctrica se aprovecha la energía hidráulica que tiene el agua, por su velocidad, por su altura o presión. De esta forma, el agua es retenida en un embalse o presa, dejándola caer por una tubería, cuya salida se coloca una turbina, el eje de la cual comienza a girar al caer; este giro pone en marcha el generador eléctrico obteniéndose así la electricidad. Una de las grandes ventajas de este tipo de generación es que puede ser constante y previsible.

A nivel mundial el 16% de la energía utilizada para la generación de energía eléctrica proviene de la energía hidroeléctrica. Se estima que solo ha sido aprovechado el 30% del potencial. Algunos países como Noruega o Canadá basan su fuente de energía en la hidroeléctrica.

Dentro de América del Sur, Argentina se posiciona en el puesto número cuatro con una potencia instalada de 11170 MW, cuenta aproximadamente con un 38% de energía hidroeléctrica que se utiliza para la generación de electricidad. En Brasil, Venezuela y Colombia cuentan con una mayor potencia instalada la cual varía en un rango de 11606 a 98015 MW. [2]

Si bien la energía hidroeléctrica se considera un recurso renovable, hay que contemplar que el desarrollo de electricidad a gran escala puede provocar daños ambientales y conflictos sociales, particularmente en el caso de las centrales hidroeléctricas basadas en el almacenamiento. En este caso, el prototipo a implementar se clasifica dentro de los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos (PAHs), los cuales mitigan los impactos ambientales asociados a los sistemas de producción de electricidad debido a que no requiere la inundación de grandes terrenos ni produce residuos contaminantes.

Los PAHs se pueden clasificar según su potencia en micro, mini o pequeñas centrales.

Tabla N°1: Clasificación de pequeñas centrales hidroeléctricas según su potencia.

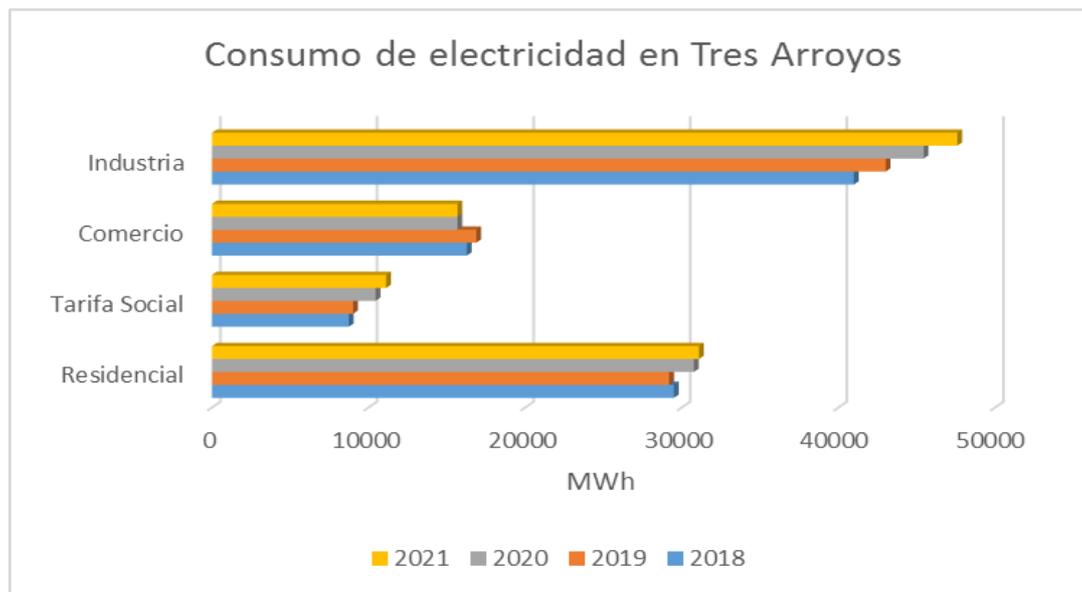
POTENCIA EN KW	TIPO
HASTA 50	MICRO CENTRAL
50-500	MINI CENTRAL
500-5000	PEQUEÑA CENTRAL

Fuente: OLADE [3]

Argentina, según la Secretaría de Energía de la Nación, cuenta con por lo menos 45 Pequeños Aprovechamientos Hidráulicos extendidos a lo largo del país. Hay una gran concentración de los PAH's en las provincias de Rio Negro, Mendoza, Jujuy y Córdoba. Dentro de las micro centrales según la clasificación de la Secretaría de Energía se encuentran las PICO-CENTRAL que tienen una potencia de 0-5 kW. [4]

Tomando de ejemplo la ciudad de Tres Arroyos, el consumo de energía eléctrica ha incrementado año a año. A raíz del análisis realizado por CELTA (Cooperativa eléctrica de Tres Arroyos), en los años 2018, 2019 y 2020, se demostró que aún en pandemia y con las restricciones sanitarias impuestas, no disminuyó el consumo [5]. Se estima que para 2021 la demanda de los distintos rubros seguirá en alza.

Gráfico N°1: Consumo eléctrico ciudad de Tres Arroyos.



Fuente: Elaboración propia

A raíz de esto, y como parte del proyecto de final de la materia Energías Renovables I de la UPSO, surge el proyecto de diseñar y construir un prototipo de turbina de Arquímedes que genere energía hidroeléctrica, de fácil ensamblaje y movilidad, empleando materiales amigables con el medio ambiente y biodegradables.

Al ser un sistema aislado de la red de distribución, se busca abastecer de electricidad a zonas rurales, pequeñas comunidades o regiones de difícil acceso, que hoy en día no disponen de éste servicio, colaborando a una mejor calidad de vida. De esta forma, las personas podrán satisfacer necesidades básicas como la cocción de alimentos, iluminación, agua caliente, calefacción, refrigeración, etc. Además es una alternativa viable económicamente, ya que a diferencia de los altos costos de infraestructura que conlleva la extensión de redes eléctricas, los materiales a emplear en este tipo de sistemas son de bajo costo y de fácil acceso, pudiendo ser diseñados y montados por personas de la comunidad del lugar donde se vaya a instalar.

El sistema propuesto se clasifica como pequeña central hidroeléctrica (mini – micro central) y se trata de un diseño que utiliza un Tornillo de Arquímedes como fuente motriz del sistema de rotación.

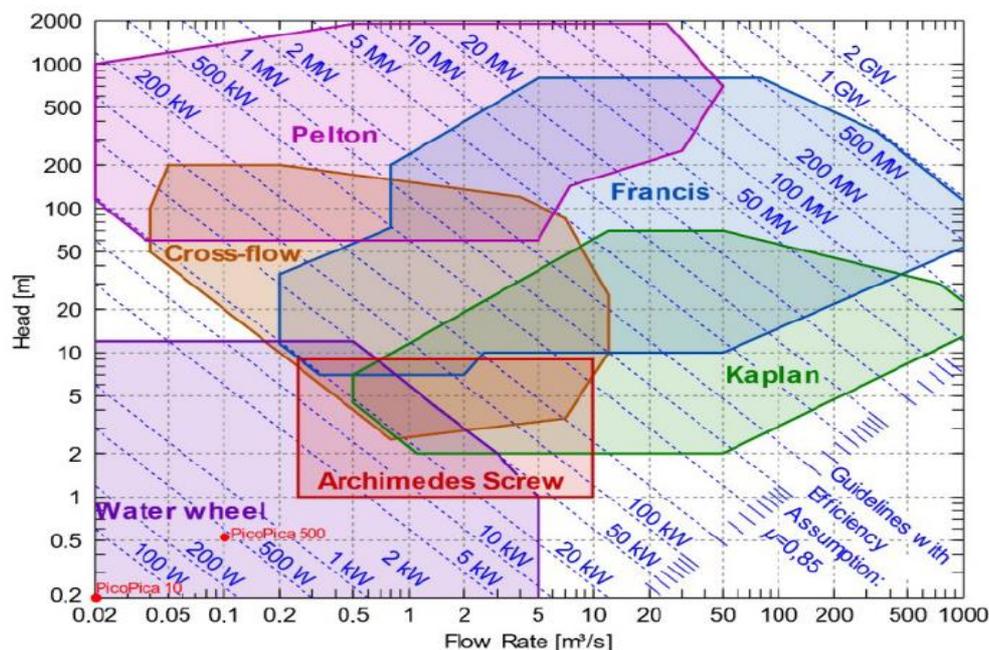
La turbina de Arquímedes es un dispositivo que consiste en principio, en una superficie con hélices helicoidales dentro de un cilindro cuyo eje está inclinado de tal modo que su extremo inferior quede dentro del agua. El cilindro y la hélice helicoidal forman una serie de celdas en las cuales el agua desciende cuando el tornillo gira. Se encuentra en el grupo de máquinas gravimétricas, es decir que el agua contribuye al movimiento de la turbina por su propio peso. Se llenan las cavidades del tornillo que funcionan como cajones que se

desplazan hacia abajo y por la acción de su peso y la superficie helicoidal de la hélice, hace girar al tornillo. Es decir que utilizan la variación de la energía geodésica del fluido.

Algunas de las ventajas del tornillo de Arquímedes en comparación con otras unidades de generación de energía hidráulica (Pelton o Francis) son:

- Capacidad de operación a bajos caudales (hasta 10 m³/s) y saltos (hasta 10 m). Imagen N° 1.
- Menor peso y tamaño de sus elementos.
- No requiere cámara de carga ni tubería forzada.
- Funciona a una velocidad de rotación relativamente baja, lo que origina poco desgaste de los componentes mecánicos y garantiza su vida útil.
- La forma en espiral evita que la unidad sea obstruida.
- Coste de mantenimiento bajo

Imagen N°1: Rango de trabajo de diferentes turbinas hidráulicas.



Fuente: Sustainability 2020, 12(18), 7352; <https://doi.org/10.3390/su12187352> Received: 7 August 2020 / Revised: 4 September 2020 / Accepted: 4 September 2020 / Published: 8 September 2020[6].

Las partes principales de la turbina son el rotor, el tornillo que se encuentra sujetado con un cojinete superior y uno inferior, un multiplicador/reductor de velocidad y un generador.

Las variables de diseño son muy importantes para optimizar los niveles de potencia obtenidos. A continuación se detallan las más importantes y su incidencia.

- **Relación de diámetros:** La relación entre el diámetro de la hélice y el correspondiente al eje tiene incidencia directa sobre el área útil sobre la que incide el flujo de agua. El objetivo es maximizar dicha área, por lo que lo ideal es minimizar el diámetro del eje hasta el límite técnico del material y maximizar el diámetro de la hélice.
- **Longitud:** Cuanto mayor es esta dimensión, existe más superficie de contacto entre las paredes de la hélice y el flujo de agua, lo que implica mayor potencia en el eje. A pesar de esto, la longitud se encuentra limitada ya que con ella aumentan las pérdidas por rozamiento. Es por eso que existe un punto de máxima potencia con respecto al largo: el doble del diámetro de la hélice,
- **Paso:** Es fundamental para el funcionamiento de la turbina. Cuanto mayor sea el paso menos perturbación tendrá el flujo de agua por lo que habrá menores rozamientos y se tendrán mejores niveles de potencia.

En los últimos años, el tornillo de Arquímedes se ha adaptado a distintas instalaciones de energía hidroeléctrica alrededor del mundo. Un caso de aplicación de este dispositivo es en España, en la localidad cántabra de Torrelavega. En el punto en el que el río Saja deriva parte de su cauce para dar servicio a una planta industrial, dos “hidrotornillos” situados en paralelo son capaces de generar 70 kW de potencia (35 kW cada uno) durante las 24 horas del día, utilizando un salto de agua existente con una altura de 2 metros, que producen un caudal de 5 metros cúbicos por segundo entre las dos turbinas. Estas tienen un diseño “fish-friendly” ya que permiten el descenso seguro de los peces entre los álabes del rotor. [7]

En Inglaterra, el tornillo de Arquímedes se utilizó para dar una nueva oportunidad a una planta que había sido cerrada hace más de 50 años. La central Linton Falls Hydro utiliza dos tornillos y tiene una capacidad instalada de 100 KW. La reingeniería de la planta minimizó el impacto en la vida silvestre local, donde se aprovechó que los tornillos son lo suficientemente anchos para permitir que los objetos pequeños, como hojas y peces, pasen sin dañarlos. [8]

En este caso, el proyecto de instalación se llevará a cabo en un arroyo, ya que el dispositivo a emplear no necesita de una gran profundidad. De esta forma, se suministrará electricidad a la población local, promoviendo un enfoque de autosuficiencia e independencia en el suministro de energía capaz de generar electricidad limpia e incluso almacenarla en baterías.

La energía eléctrica obtenida será destinada a la iluminación del camino que bordea al arroyo a través de 600 m, aproximadamente. El mismo se encuentra en uno de sus extremos con la entrada a un parque de la ciudad (Parque Miedan), y a su vez circunda por uno de los laterales de la cancha de fútbol del club Villa del Parque.

Imagen N° 2 A: Camino del arroyo.



Fuente: Elaboración propia

Imagen N° 2 B: Camino del arroyo.



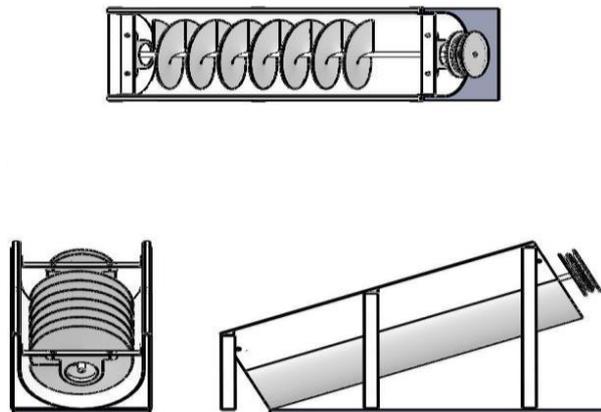
Fuente: Elaboración propia

Para el diseño de la turbina se utilizó el programa SolidWorks, un software CAD/CAE para modelado mecánico en 2D y 3D, desarrollado en la actualidad por SolidWorks Corp., una filial de Dassault Systèmes. Este programa permite el desarrollo de piezas con bastante facilidad y seleccionando un material real para su simulación en distintas pruebas de cargas/deformaciones, resistencia, velocidad, rotaciones, entre otras. Este programa facilita

la construcción del tornillo de Arquímedes para poder simularlo en el entorno al que se va a probar y así obtener un primer análisis de los parámetros importantes previo a sus ensayos con el modelo.

Para la fabricación del primer modelo de turbina para hacer los ensayos, se prevé el uso de la tecnología de impresión 3D. En la última década se han producido avances tecnológicos en muchas áreas de la ingeniería, muchos de los cuales están relacionados con el uso de las impresoras 3D y los nuevos materiales. La impresión 3D, como herramienta en la industria de fabricación de modelos a medida, está generando una serie de cambios significativos a la hora de concebir el diseño y fabricación de nuevas máquinas hidráulicas. En este sentido, la aplicación de la tecnología de impresión 3D, nos va a permitir probar diferentes diseños y nuevos materiales, antes de su construcción, mejorando el resultado final de la máquina antes de su instalación.

Imagen N° 3: Turbina.



Fuente: Elaboración propia

Se sabe que, para la mayoría de las investigaciones, para ahorrar tiempo y dinero, las pruebas se realizan con un modelo a escala geométrica en lugar de un prototipo de tamaño real, por lo cual es de suma importancia la realización correcta de la escala.

Los tres propósitos principales del análisis dimensional son:

1. Generar parámetros adimensionales que ayuden al diseño de experimentos y al reporte de los resultados experimentales.
2. Obtener leyes de escalamiento de modo que se pueda predecir el desempeño del prototipo a partir del desempeño del modelo.
3. Predecir las tendencias en la relación entre parámetros.

En cuanto a la similitud, deben cumplirse tres condiciones para que esta sea completa entre el modelo y el prototipo:

1. Similitud geométrica: el modelo debe tener la misma forma que el prototipo, pero se puede escalar por algún factor de escala constante.
2. Similitud cinemática: la velocidad en cualquier punto del flujo del modelo debe ser proporcional (por un factor de escala constante) a la velocidad en el punto correspondiente en el flujo del prototipo.
3. Similitud dinámica: se logra cuando todas las fuerzas en el flujo del modelo se escalan por un factor constante a fuerzas correspondientes en el flujo del prototipo.

Para llevar a cabo el diseño y desarrollo de esta turbina se deben definir ciertos parámetros, para lo cual se utilizarán las ecuaciones de semejanza y las ecuaciones propias de la turbina Arquímedes.

La propuesta para este trabajo fue utilizar como modelo la unidad de energía PicoPica10, un equipo de generación de energía hidráulica con un gran potencial para disponerse en áreas no electrificadas, con características que incluyen generación de baja carga. Es una unidad que permite una generación de alrededor de 10W si se tiene asegurado un flujo de 10ℓ / seg y una altura de 0.1 m. Este producto se puede ensamblar manualmente y utilizar como iluminación de seguridad u otro uso, extrayendo energía de una vía fluvial cercana.

Conociendo todos los parámetros del modelo, se busca construir una turbina semejante a la PicoPica10 que pueda adaptarse a las características del arroyo en la localidad de Tres Arroyos.

OBJETIVOS

El objetivo global de este proyecto es la generación de energía eléctrica mediante una microcentral hidroeléctrica aprovechando el caudal y velocidad de un arroyo.

Los objetivos específicos a corto plazo son:

- Determinar los parámetros necesarios para la construcción de la microcentral.
- No modificar las características naturales del ambiente.
- Generar electricidad para alumbrado público.

Los objetivos a mediano/largo plazo:

- Abastecer de electricidad a establecimientos deportivos, bibliotecas, barrios.
- Generar conciencia a los habitantes de la ciudad sobre el cuidado de los arroyos.
- Mejorar la calidad de vida de las personas afectadas por el proyecto.
- Crecer como organización para instalar más generadores en distintas partes de la región.

METODOLOGÍA

El prototipo estará ubicado en el arroyo del medio de la ciudad de Tres Arroyos. La elección se debió a que su curso atraviesa el centro de la ciudad, tiene mejor caudal y circulación de agua. Se aprovechará la energía potencial y cinética propia del arroyo, la cual se transformará en energía mecánica a través de la turbina y finalmente en energía eléctrica con el generador.

Imagen N° 4: Ciudad de Tres Arroyos



Fuente: Hablemos de Argentina [9]

Las características principales que se deben tener en cuenta al desarrollar una central hidroeléctrica [10], desde el punto de vista de su capacidad de generación de electricidad son:

- Potencia:

$$P = \eta \cdot \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$$

Donde η es el rendimiento global de la instalación, Q es el caudal de agua en $\frac{m^3}{s}$ que se descarga en las turbinas, g ($9,8 \frac{m}{s^2}$) la aceleración de la gravedad y H es el salto bruto en metros. [4]

- Tipo de turbina.
- Generador: En el que un motor mueve el eje de un generador eléctrico basado en la ley de Lenz, es decir, en las corrientes inducidas en los bobinados de la máquina por los campos magnéticos que ella misma crea o existen en su interior. Dicho de otra forma lo consiguen gracias a la interacción de los dos elementos principales que lo componen: la parte móvil llamada rotor, y la parte estática que se denomina estator. Cuando un generador eléctrico está en funcionamiento, una de las dos partes genera un flujo magnético (actúa como inductor) para que el otro lo transforme en electricidad (actúa como inducido).

Es importante aclarar que este proyecto no contempla el diseño y cálculo del generador acoplado a la turbina, dejando esto a una segunda etapa del proyecto.

En primer lugar hay que determinar la potencia bruta del lugar en KW. Para esto, uno de los parámetros a conocer es el caudal del arroyo. El caudal se define como la cantidad de agua que fluye a través de una sección transversal en un tiempo determinado, y se expresa en volumen por unidad de tiempo. Puede medirse con diferentes métodos y la elección del mismo depende de las condiciones de cada sitio.

Imagen N° 5: Medición en arroyo.



Fuente: Elaboración propia

En este proyecto la medición se llevó a cabo empleando el método del flotador. Este método permite medir caudales con mediana exactitud por lo que conviene emplearlo en arroyos de agua tranquila. Para realizar la medición, se utilizó como flotador una botella de 1.5 litros parcialmente llena de agua ($\frac{2}{3}$ parte), registrándose la medida en distintas zonas del curso del arroyo, tratando de encontrar un lugar donde el agua esté tranquila y exenta de plantas acuáticas, de manera que la trayectoria del flotador no se vea obstruida y así obtener resultados más precisos.

Para ello se definieron dos zonas de medición en el arroyo, cada zona definida por dos segmentos AA y BB, Imagen 6. Se calculó el tiempo que le tomó al flotador llegar del segmento AA al segmento BB. De esta forma, se pudo conocer la velocidad de la superficie del agua (en m/s) dividiendo la distancia de AA a BB (en metros) por el tiempo medio (en segundos). Ya teniendo estos datos, y repitiendo la medición 3 veces, estimamos la sección transversal media la cual se calculó midiendo la profundidad media del arroyo en las secciones transversales AA y BB (tirantes), multiplicada por el ancho superficial. Esta área fue afectada por un coeficiente de corrección de $\frac{2}{3}$.

Se optó como lugares potenciales para la instalación de la microturbina, dos zonas del arroyo y se midieron los siguientes parámetros: ancho, profundidad promedio, área, velocidad y caudal. La zona 1, ubicada en cercanías del puente de Av. Belgrano 1500 y la zona 2, a cercanías de uno de los extremos del Parque Miedan.

ZONA 1:

Ancho: 3,20 m.

Profundidad Promedio: 0,37 m.

$$\underline{\text{Área}} = (3,20\text{m} \times 0,37\text{m}) \cdot \frac{2}{3} = \mathbf{0,79 \text{ m}^2}$$

$$\text{Velocidad 1} = \frac{3 \text{ m}}{3 \text{ s}} = \mathbf{1 \frac{m}{s}}$$

$$\text{Velocidad 2} = \frac{3,10 \text{ m}}{3,25 \text{ s}} = \mathbf{0,95 \frac{m}{s}}$$

Con estos datos es factible calcular el caudal del arroyo:

$$Q = \frac{1 \frac{m}{s} + 0,95 \frac{m}{s}}{2} \cdot 0,79 \text{ m}^2 = \mathbf{0,770 \frac{m^3}{s}}$$

ZONA 2:

Ancho: 3 m.

Profundidad Promedio: 0,42 m.

$$\underline{\text{Área}} = (3 \text{ m} \times 0,42 \text{ m}) \cdot \frac{2}{3} = \mathbf{0,83 \text{ m}^2}$$

$$\text{Velocidad 1} = \frac{8,4 \text{ m}}{20 \text{ s}} = \mathbf{0,42 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$\text{Velocidad 2} = \frac{10 \text{ m}}{15 \text{ s}} = \mathbf{0,66 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

Con estos datos es factible calcular el caudal del arroyo:

$$Q = \frac{0,42 \frac{\text{m}}{\text{s}} + 0,66 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2} \cdot 0,83 \text{ m}^2 = \mathbf{0,45 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}$$

Para definir los parámetros se tomaron los valores medios entre las zonas 1 y 2. Por lo tanto:

$$Q_p = 0,61 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

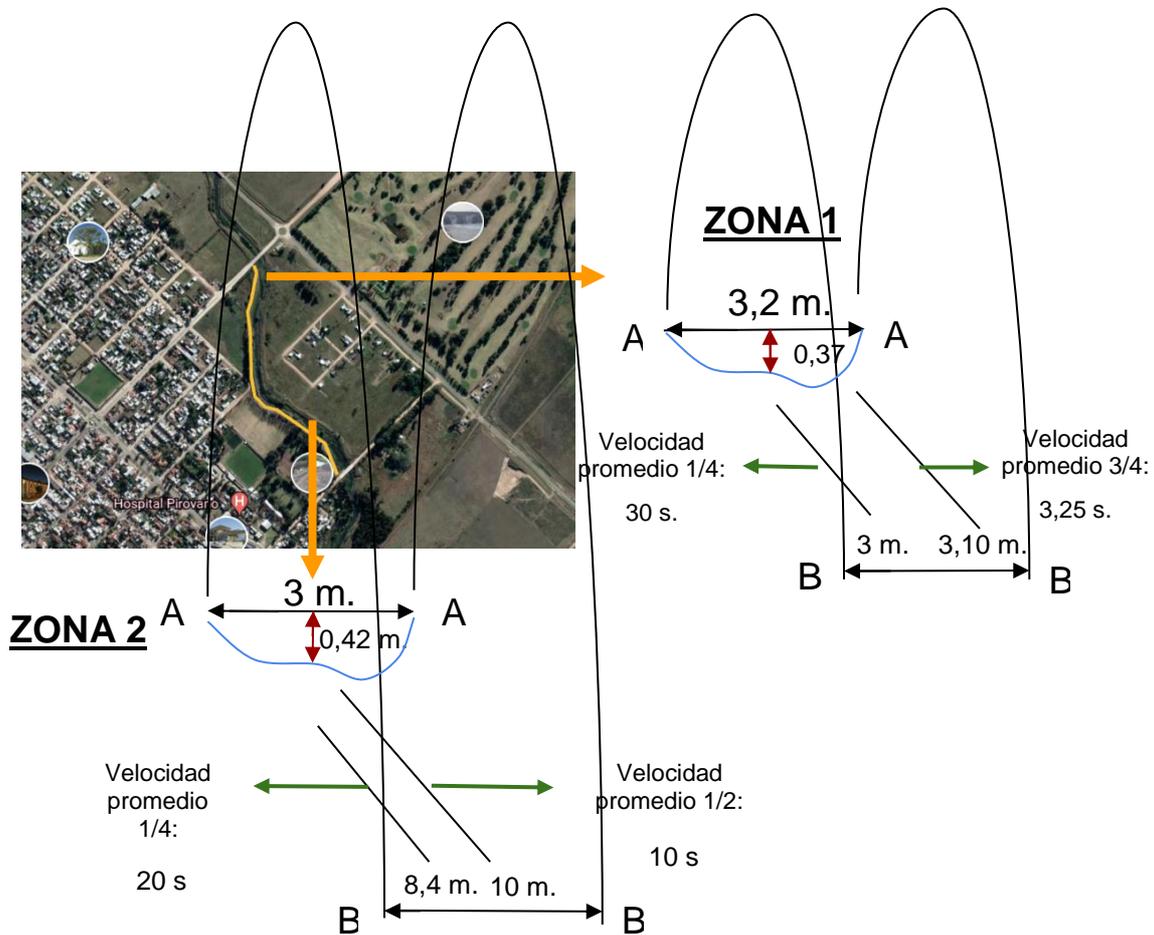
$$V_p = 0,75 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$H_p = 0,40 \text{ m}$$

Contando con esta información, se determinó la factibilidad de implementación de un generador hidroeléctrico ya que se necesita un mínimo de 0,1 m de profundidad y un caudal de $0,01 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ pudiendo generar 10W para al menos dos lámparas led.

Tomando como modelo la PicoPica10, cuyos parámetros están estandarizados y son conocidos, se podrá dimensionar una máquina semejante prediciendo el comportamiento que tendrá la misma al emplazarla en el arroyo.

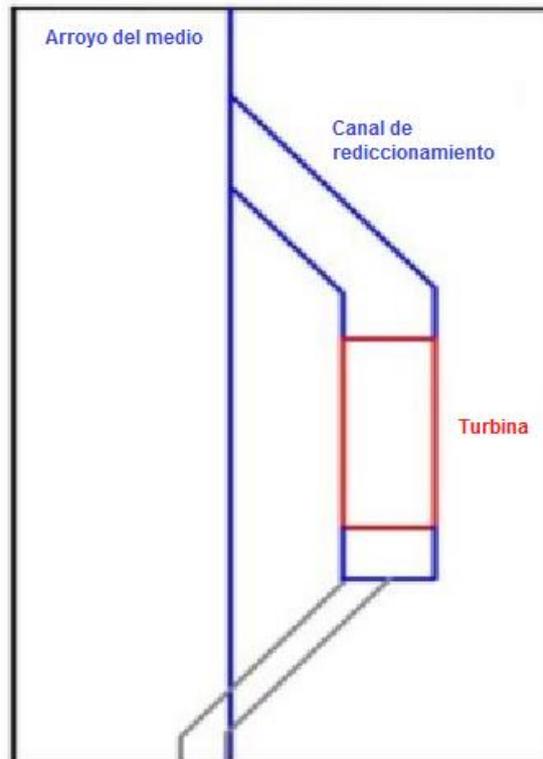
Imagen N° 6: Zonas de medición.



Fuente: Elaboración propia.

Para el correcto aprovechamiento del caudal y funcionamiento de la turbina, se propone redireccionar parte del caudal del arroyo (by-pass) para generar el salto necesario y que el dispositivo no quede completamente sumergido (Imagen N° 7). Para disminuir las pérdidas de carga se busca que las secciones tengan la menor longitud y, de ser posible, la menor cantidad de codos.

Imagen N° 7: Representación del by-pass sobre el arroyo.



Fuente: Elaboración propia

Debido a que nuestros valores de caudal a lo largo del arroyo están sobredimensionados para la máquina que se desea construir, se propone que el desvío del curso del arroyo mediante la construcción de una canalización, con una distancia entre ambos de no más de 0,5 m, e instalándose un pequeño embalse para asegurar un ingreso uniforme del flujo por la sección de la turbina. Teniendo en cuenta la profundidad del arroyo y las dimensiones máximas que se podrán imprimir en las máquinas 3D del laboratorio de AeroMat, la canalización tendrá una sección cuadrada de profundidad y un ancho de 0,4 m, estas medidas permitirán que las hélices del prototipo de la turbina tengan un diámetro (D1) de 0,3m. Comparando los datos del diámetro de las hélices y del eje de la turbina Pico Pica 10, se halló a través de una regla de tres simple el diámetro del eje de la turbina Arquímedes

$$\begin{array}{l} \text{Si para } 198\text{mm} \text{ ————— } 12\text{mm} \\ 300\text{mm} \text{ ————— } D2 = 18,1\text{mm} \end{array}$$

A partir de estas suposiciones y las mediciones realizadas, se puede averiguar el caudal que fluirá por la turbina. Este dato se calcula a partir de la ecuación de continuidad:

$$Q = \text{Área} \times \text{Vel}$$

$$Q = \left(\pi \frac{D^2}{4}\right) \times V_p$$

$$Q = 0,053 \frac{m^3}{s}$$

Teniendo en cuenta la profundidad del arroyo se propuso que la canalización se diseñe de forma tal que la turbina cuente con un salto de 0,4 m. Además, contemplando el equipamiento disponible en los laboratorios, se tiene una capacidad de impresión de hasta 1 m. Es por esto que se propone que el largo de la turbina sea de esta longitud. A través de trigonometría se calculó el ángulo de inclinación de la hélice y se obtuvo:

$$\text{Sen}(\alpha) = \text{profundidad/largo}$$

$$\alpha = \text{arcsen}(\text{profundidad/largo})$$

$$\alpha = 23,5^\circ$$

Su capacidad de generación de electricidad será:

$$\text{Potencia} = \eta \cdot \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$$

$$\text{Potencia} = \eta \cdot 207,76 \text{ W}$$

En el caso del rendimiento, se tomó un valor aproximado al 75% ya que es un factor medio al que pueden llegar este tipo de turbinas hidráulicas.

Otro de los parámetros relevantes para la construcción de la turbina Arquímedes, es el número de revoluciones por minuto, se seleccionará una velocidad de giro en el eje de 100 rpm que será acoplado a un generador de 1500 rpm mediante un acople multiplicador.

Todos estos resultados se encuentran resumidos en la tabla N°2, dentro del apartado resultados y discusión.

Una vez obtenidos todos los datos de importancia para la construcción de la turbina, se pasó al software SolidWorks®, donde se realizaron las piezas y planos de la misma. Estos también se podrán encontrar dentro del apartado resultados y discusión.

En cuanto a la fabricación del tornillo de Arquímedes y la carcasa que lo protege, el grupo de investigación Aeromat se ofreció a llevar a cabo la impresión en 3D con materiales de bajo costo y de origen nacional, los cuales son resistentes a las condiciones climáticas, y al contacto continuo con el agua del arroyo. Entre los materiales a utilizar se podrá optar por el PETG (politereftalato de etileno modificado con glicol), un termoplástico transparente el cual tiene una alta resistencia al impacto como a reacciones químicas, y también baja absorción de humedad.

Otros materiales a incluir son las lámparas con las que se iluminará el camino, el cableado y un regulador de tensión. En conjunto con estos, se tendrá que comprar el generador que se designe como mejor opción para el proyecto. Por último también se debe contar con los materiales a utilizar para el sostén del prototipo dentro del arroyo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la siguiente tabla se encuentran plasmadas todas las dimensiones necesarias para la fabricación de la turbina:

Tabla N° 2: Comparación de dimensiones modelo vs prototipo.

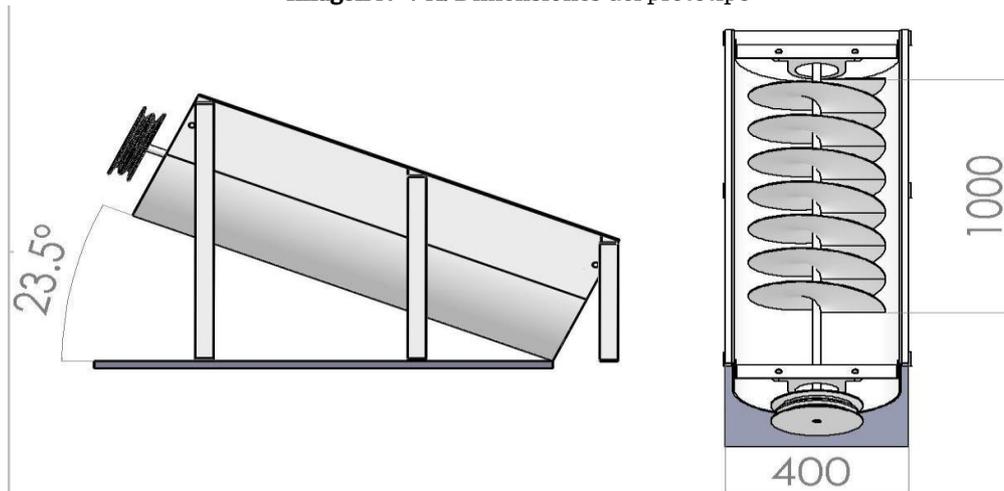
Dimensiones		Modelo "PicoPica 10"	Prototipo "Turbina Arquímedes- Tres Arroyos"
Generación	Potencia	10 W	155,82W
	Número de revoluciones	58rpm	100rpm
Dimensiones Estructurales	Longitud (L)	1085 mm	1000mm
	Ancho (W)	280 mm	400mm
	Altura (H)	385 mm	400mm
	Diámetro de la hélice	198 mm	300mm
	Diámetro del eje	12 mm	18,1 mm
	Ángulo de inclinación del tornillo	20°	23,5°
Condiciones de funcionamiento	Caudal	0,01 $\frac{m^3}{s}$	0,053 $\frac{m^3}{s}$
	Velocidad	0,33 $\frac{m}{s}$	0,75 $\frac{m}{s}$

Fuente: Elaboración propia

Según los datos de esta tabla, teniendo de referencia la turbina PicoPica 10, una vez construida la turbina debería funcionar de forma correcta. Proporcionando una potencia de 155,82 Watts lo que dará energía a por lo menos 15 lámparas de 10 W cada una.

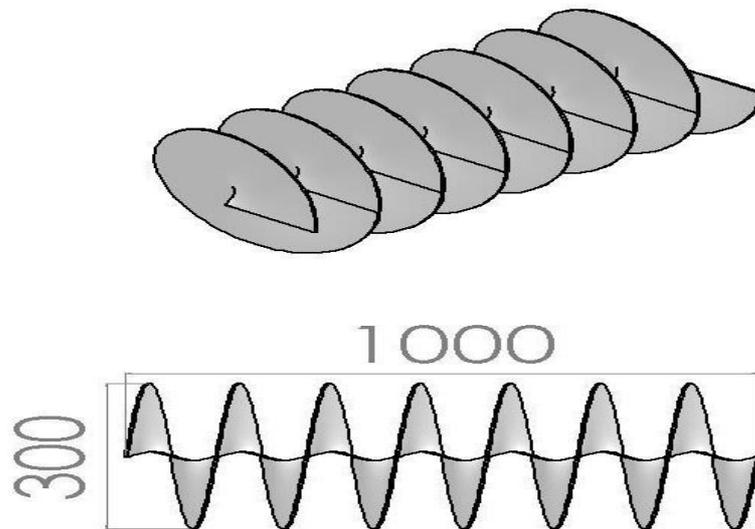
Con estos datos, se realizaron los planos con SolidWorks para la fabricación en 3D de las distintas piezas de la turbina.

Imagen N° 7 A: Dimensiones del prototipo



Fuente: Elaboración propia

Imagen N° 7 B: Dimensiones del prototipo



Fuente: Elaboración propia

Los pasos a seguir luego de llegar a los resultados anteriores son:

- Construcción de modelos en laboratorios.
- Hacer ensayos de simulación por elementos finitos.
- Corroborar ensayo en el túnel de viento
- Realizar la instalación en Tres Arroyos.

CONCLUSIONES

A lo largo de este proyecto, pudimos llegar a la conclusión de que a través de pequeños aprovechamientos hidráulicos se puede llegar a obtener y aprovechar la energía cinética y potencial en arroyos de bajo caudal de regiones con escasez de recurso eléctrico, ofreciendo energía limpia y reduciendo el impacto negativo sobre la vida acuática.

Luego de la realización de las mediciones de caudales del arroyo, se obtuvieron los datos necesarios para el dimensionamiento de la turbina. Se espera en breve comenzar con la fabricación de la turbina en 3D y realizar la instalación en Tres Arroyos. En una primera instancia se realizará la iluminación del camino próximo al mismo y en un futuro se podrían realizar proyectos a mayor escala generando más energía abasteciendo a barrios, canchas de fútbol y parques cercanos a la instalación. Así mismo, concientizar a la población de cómo utilizar este recurso y sobre la contaminación que encontramos en él. Por último, establecimientos educativos podrán hacer visitas a la instalación para conocer sobre el prototipo y así incitar a que los estudiantes incursionen en temas relacionados a la energía y ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

[1] A. Bárcena y otros (2020), La emergencia del cambio climático en América Latina y el Caribe: ¿seguimos esperando la catástrofe o pasamos a la acción?, Libros de la CEPAL, N° 160 (LC/PUB.2019/23-P), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

[2] Ministerio de energía y minería Presidencia de la Nación. (2017). Hidroelectricidad en Argentina y en el Mundo. Capital Federal, Argentina. Recuperado de : <https://www.minem.gob.ar/www/844/26035/hidroelectricidad-en-argentina-y-en-el-mundo#:~:text=Pa%C3%ADses%20reconocidos%20por%20sus%20pol%C3%ADticas,33%2C1%25%20del%20total>

[3] Organización latinoamericana de energía (OLADE), (1980) El desarrollo de pequeñas centrales hidroeléctricas en Latinoamérica y el Caribe (2a. ed.), Panamá. Recuperado de : <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/old0225.pdf>

[4] Secretaría de Energía. (2017). Argentina. Recuperado de : <http://datos.minem.gob.ar/dataset/generacion-electrica-pequenos-aprovechamientos-hidroelectricos/archivo/5e1ab816-88e3-4190-98d4-a3aff4fc94b1>

[5] La Voz del Pueblo. (2021). Aún en pandemia, siguió creciendo el consumo eléctrico de las industrias. Tres Arroyos. Recuperado de : <https://lavozdelpueblo.com.ar/noticia/112937->

[An-en-pandemia,-siguiendo-el-consumo-elctrico-de-las-industrias](#)

[6] YoosefDoost A. y Lubitz G.D., Sustainability 2020, 12(18), 7352; <https://doi.org/10.3390/su12187352>. Received: 7 August 2020 / Revised: 4 September 2020 / Accepted: 4 September 2020 / Published: 8 September 2020.

[7] SinFin Energy. (2019). Central hidráulica sinfin Barreda. Gijón, Asturias, España. Recuperado de : <https://www.sinfinenergy.com/proyectos/solvay/>

[8] Rhianna (2011). Esquemas de energía hidroeléctrica Linton Falls y Low Wood. Recuperado de: <https://www.yumpu.com/en/document/read/18128167/linton-falls-and-low-wood-hydropower-schemes-cms>

[9] Hablemos de Argentina. (2018). Tres Arroyos Buenos Aires: ubicación, turismo y más. Recuperado de : <https://hablemosdeargentina.com/c-buenos-aires/tres-arroyos-buenos-aires/>

[10] José A. C. González, Roque C. Pérez, Antonio C. Santos, Manuel-A.C. Gil (2009), "CENTRALES DE ENERGÍAS RENOVABLES: GENERACIÓN ELÉCTRICA CON ENERGÍAS RENOVABLES", Madrid, España. Editorial: Pearson Educación y la Universidad Nacional de Educación a Distancia.