

# PICO TURBINA AXIAL PARA BAJOS SALTOS<sup>1</sup>

Ariel R. Marchegiani<sup>2</sup>, Fabián Rojas<sup>3</sup>, Victor Hugo Kurtz<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Trabajo de Investigación, Proyecto del Programa de Incentivos Código 04-I176 (U.N.Co.) y 16-I091 (U.Na.M.)

<sup>2</sup> Director de Proyecto 04-I176, Ingeniero Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Comahue, [ariel.marchegiani@fain.uncoma.edu.ar](mailto:ariel.marchegiani@fain.uncoma.edu.ar)

<sup>3</sup> Integrante de Proyecto 04-I176, Integrante Alumno, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Comahue, [rojasfabian@yahoo.com.ar](mailto:rojasfabian@yahoo.com.ar)

<sup>4</sup> Integrante de Proyecto 04-I176, Dir. Proyecto 16-I091, Ingeniero Electricista, Mg. en Educación Superior, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones, [kurtzvh@gmail.com](mailto:kurtzvh@gmail.com)

## Resumen

Nuestro país posee un gran potencial en posibles microaprovechamientos hidroeléctricos de bajo salto, ya sea en los diversos cursos de agua de la zona cordillerana o como así también en canales de riego y emprendimientos agrícolas, con caudales importantes que se pueden utilizar para generar energía por medio de pico centrales hidroeléctricas. Pero el principal problema hasta ahora ha sido el alto costo de capital por kW instalado de este tipo de aprovechamientos. Por lo tanto se necesita diseñar máquinas simples y de buen rendimiento para cubrir estos diversos aprovechamientos potenciales. En este trabajo se presenta el diseño de una pequeña turbina hidráulica de tipo axial que ha sido pensada para bajas caídas, con caudales que varían entre 80 l/s a 150 l/s, y alturas entre 1 m y 2 m.

El concepto con el que se llevó a cabo tal tarea surge como resultado de discusiones planteadas en el Laboratorio de Máquinas Hidráulicas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Comahue, en el marco de los proyectos 04-I176 (U.N.Co.) y 16-I091 (U.Na.M.). El objetivo de este trabajo fue desarrollar una turbina hidráulica axial optimizada y con un enfoque particular en la facilidad de fabricación, con un diseño simple, compacto y de bajo costo. Se ha planteado una regulación de la potencia en forma electrónica y una generación por medio de un motor asincrónico utilizado como generador.

**Palabras Clave:** *pico turbina - turbina axial – microaprovechamiento - hidroelectricidad.*

## Introducción

Actualmente no estamos ajenos a la crisis energética de nuestro país, con lo cual resulta de gran interés estudiar y desarrollar otras fuentes energéticas alternativas y sustentables. La energía hidráulica es una de ellas y se destaca por ser prácticamente gratuita y con un muy bajo impacto ambiental sobre todo en la pequeña escala.

Atendiendo esto, el diseño de la picoturbina presenta un concepto simple que se garantiza por una sencilla instalación, operación y mantenimiento. Desde la perspectiva de los aprovechamientos hidráulicos no se requiere de obras civiles como canales, desarenador, cámara de carga sino que estas se ven resumidas en un módulo compacto que conforma la caja de cámara espiral. La simplicidad no solo engloba los aspectos de diseño sino además los de fabricación ya que todas sus partes se han dimensionado para ser construidos en talleres locales y con procesos básicos de metalurgia.

## Parámetros de diseño

A partir de un breve análisis sobre la explotación del recurso hídrico en diversas regiones de nuestro país, se encuentra que del enorme potencial hidráulico el desarrollo de emprendimientos hidroeléctricos se ha centrado en una franja del mismo, ignorando una buena parte del potencial hídrico a la correspondiente a la pico generación. Es decir, muchos de los emprendimientos hidroeléctricos existentes se han enfocado en la construcción de pequeños y microaprovechamientos para abastecer comunidades aisladas o remotas.

Esta categoría (pico-hidro) presente en muchos sitios de nuestro país y que puede dar respuesta a una necesidad social corresponde a los cursos de agua de abundante caudal pero de muy bajo salto. Surge así el interés por estudiar y desarrollar un diseño de turbina hidráulica para un rango de parámetros (Salto- Caudal) que no ha sido cubierto por otros tipos de máquinas. Así surgen como parámetros más convenientes para el diseño un salto de 1,5 m y una potencia de 1000 W.

## Concepto y consideraciones en el diseño

Entendiendo que más allá de satisfacer una necesidad básica como es la energía eléctrica en la actualidad, la factibilidad e implementación de un proyecto se manifiesta en la reducción del costo capital por kW generado, además de la condición respecto al salto disponible para la turbina, se plantean otras restricciones enfocadas a reducir los costos de la instalación simplificando su construcción y operación.

## Proceso de predimensionamiento y Caracterización de la turbina

Una turbina hidráulica se encuentra caracterizada por un número adimensional que vincula los parámetros de diseño de la misma, conocido como número específico o velocidad específica  $n_q = n \cdot Q^{0.5} / H_n^{0.75}$ , donde,  $n$  es la velocidad de rotación de la turbina (rpm),  $Q$  es el caudal ( $m^3/s$ ) y  $H_n$  es el salto neto de la máquina (m) todos en el punto de funcionamiento óptimo de la turbina.

En este trabajo se utilizan las correlaciones estadísticas de baja potencia (A. Lugaresi and A.Massa, 1987; A. Marchegiani, 1997) para caracterizar el número específico y consecuentemente las dimensiones de la máquina.

## Diámetro y Dimensiones generales de la turbina

La determinación del diámetro característico de la turbina se realiza a partir del número específico de la turbina, ya que como se mencionó representa geoméricamente la máquina. Las dimensiones generales restantes indicadas en la figura 1, se determinaron a partir de lo propuesto por los diferentes autores (ej. F. De Siervo y F. De Leva, 1976) en función al número específico. Los parámetros nominales se pueden observar en la tabla 1.

$H_{\text{neto}}$ [m]	$Q_{\text{nominal}}$ [ $m^3/s$ ]	$n$ [r.p.m]	$n_q$	$D_e$ [m]	$D_i$ [m]
1,5	0.133	1040	280	0.21	0.075

Tabla 1: Parámetros nominales de la picoturbina.

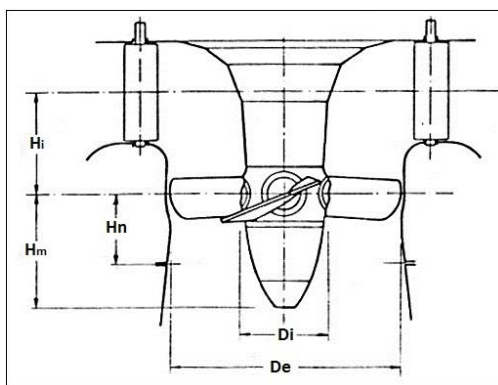


Figura 1- Dimensiones generales turbina hidráulica axial .

### Diseño del Rodete

El rodete es el principal elemento donde se produce el intercambio energético entre el fluido y la turbina. Al igual que con el diseño de cualquier turbomaquina el mismo se plantea para un punto de funcionamiento nominal u óptimo en el cual la turbina desarrolla su máximo rendimiento.

El rodete de una turbina hélice consta de un número variable de álabes que depende del salto y el caudal. Para la turbina diseñada se ha adoptado un número de álabes de 4 y una relación de cubo de 0.35, y se diseñó utilizando la teoría aerodinámica aplicada a las maquinas hidráulicas. El perfil elegido para los álabes fue un NACA 4406 y se buscó optimizar la relación entre coeficientes de arrastre y sustentación.

Antiguamente para este tipo de aprovechamientos los rodetes se fabricaban en fundición aluminio o bronce mediante técnicas artesanales relativamente complicadas y sin buenos acabados. También se podían mecanizar en centros CNC, obteniendo mejores resultados pero su costo lo hacía económicamente inviable en la implementación para bajas potencias. En la actualidad con el desarrollo de software de CAD se plantean otras alternativas muy competitivas como la impresión 3 D (tridimensional), la cual podría utilizarse para realizar los moldes en arcilla para una posterior fundición. Inclusive con el desarrollo de las últimas resinas poliméricas comúnmente usadas para impresiones como el ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno), PLA (ácido poliláctico) y los recubrimientos epoxis podrían plantearse como fuertes candidatos finales para el uso en la máquina construida y no solo en prototipos. Cabe mencionar que estos polímeros termoplásticos poseen bondadosas propiedades mecánicas como resistencia al impacto, estabilidad estructural y además son totalmente reciclables.

### Distribuidor

En el caso de esta picoturbina, dada la potencia generada, no se justifica un sistema de regulación compleja de caudal, ya que se generará para máxima carga utilizando para la regulación de la potencia fin un sistema de derivación de cargas electrónico. Entonces se tiene solamente un anillo con los álabes estacionarios, que cumple dos funciones principales: en primer lugar suministra el agua al rodete con la dirección necesaria para obtener el funcionamiento óptimo con el cual fue diseñado el rotor, y en segundo lugar cumple la función estructural de sostener todo el conjunto de generador, eje y rotor.

## **Cámara Espiral**

Dadas las características de baja potencia y bajo salto del aprovechamiento resultó conveniente utilizar una cámara espiral abierta de admisión parcial, abierta debido a que el agua no se encuentra presurizada al ingresar sino que opera a libre a la atmósfera y parcial ya que todo el caudal no ingresa tangencialmente a la misma. El diseño hidráulico de la cámara se realiza suponiendo un flujo irrotacional de fluido incompresible, aplicando la ley del vórtice libre también conocida como ley del torbellino potencial.

## **Tubo de Aspiración**

El tubo de aspiración en cualquier turbina de reacción cumple una función recuperadora en términos de altura estática y dinámica. En las turbinas de elevado número específico, desempeña un rol fundamental y sobre todo en la turbina que se describe ya que la misma funciona a presión atmosférica a la entrada de la cámara espiral, con una pequeña diferencia entre el salto bruto y el neto debido a la caída de presión por el pasaje del fluido a través de la cámara-distribuidor. Para el diseño se consideró una longitud mínima igual al salto bruto y un ángulo máximo de  $6^\circ$  para evitar los problemas de desprendimiento de la capa límite debido al efecto adverso de presiones. Respecto a la cavitación se llevó a cabo la verificación de la sumergencia mínima, utilizando el número de Thoma (Schweiger F. et al., 1990).

## **Ensamblaje**

El sistema de generación hidroeléctrico completamente armado se puede observar en la figura 2. En la parte superior se ubica el generador. Su unión se realiza por medio de la brida del motor pero la platabanda inferior que sujeta al motor posee la flexibilidad de adaptar diferentes tamaños de motor u otro tipo de generador. La principal función del tubo cobertor es sostener el generador y transmitir los esfuerzos del mismo al conjunto distribuidor-cámara espiral el cual debe sustentarse por algún tipo de estructura, además de aislar el ingreso de agua, impidiendo el contacto con el eje y su cojinete.

## **Regulación de Potencia**

La regulación de la generación será realizada mediante un sistema electrónico que trabaja en el modo de derivación de cargas en forma automática hacia el banco de resistencias que lleva incorporado. El banco de resistencias disipa la energía al medio ambiente calentando el aire circundante o agua para uso doméstico. Se basa en un dispositivo electrónico microcontrolado destinado a regular frecuencia por absorción de carga.

## **Velocidad de Rotación del Generador y Capacitor de Excitación**

Como en el caso de cualquier turbomáquina que se destinará a la producción de energía eléctrica en corriente alterna, el generador eléctrico, es el que impone la velocidad de giro del sistema, para producir según el caso tensión en 50 o 60Hz. Los generadores asincrónicos, también conocidos como generadores de inducción, comúnmente utilizados en microaprovechamientos hidroeléctricos, son normalmente motores eléctricos de inducción con rotor en cortocircuito o “jaula de ardilla”, del tipo comercial estándar.

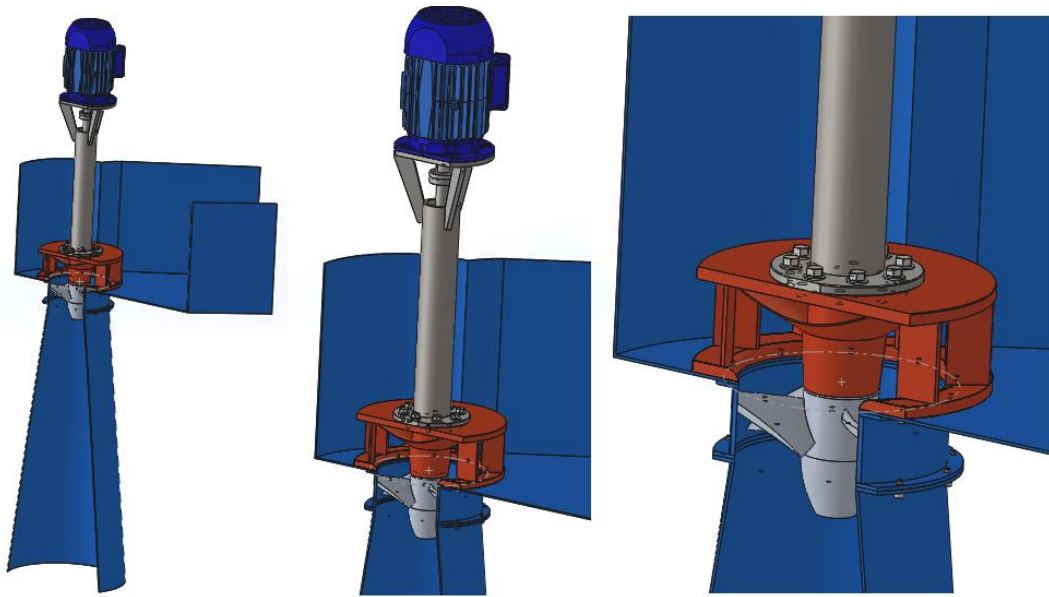


Figura 2- Conjunto de picogeneración completo (detalles de izq. a der.)

La generación se produce accionando "el motor" a velocidad de hipersincronismo (velocidad superior a la de sincronismo) y excitando el estator con una determinada tensión. En el caso de la pico turbina axial esta velocidad es de 1040 r.p.m.

Para que un motor asíncrono tipo jaula de ardilla, funcione como generador, es necesario conectar capacitores en paralelo en los bornes del motor. La conexión de los capacitores, en un circuito trifásico pueden ser en estrella "Y" o en triángulo " $\Delta$ ". Es posible demostrar (Kurtz et al 2009, 2009B) que las capacidades conectadas en triángulo " $\Delta$ ", son tres veces más pequeñas que las conectadas en estrella "Y". Pero la tensión de servicio de los capacitores debe ser 3 veces mayor. Por lo que conviene la instalación de los capacitores de excitación en triángulo.

### Conclusiones

Se ha presentado aquí el diseño de una pico-turbina hidráulica para bajos saltos y baja potencia. Las ventajas inherentes a su concepción y diseño hacen factible su fabricación en industrias locales que no posean tecnologías de producción complejas; además, esto otorga una seguridad respecto de la disponibilidad de repuestos, lo cual puede definir, en muchos casos, la aplicación del equipamiento propuesto.

En situaciones de aplicación como las expuestas, donde los equipos deben brindar un servicio confiable en condiciones de trabajo continuo y escaso mantenimiento, el equipamiento empleado debe tener robustez y confiabilidad.

Más allá del caso específico presentado en este trabajo, la metodología propuesta para la turbina descrita se puede extrapolar a diferentes situaciones de recurso hidráulico. Generando así una guía para el desarrollo de pico y micro-turbinas hidroeléctricas.

Las nuevas tecnologías en materia de dibujo y diseño asistido por computadora ofrecen alternativas de estudio y optimización de cuestiones que antiguamente demoraban y encarecían el desarrollo de proyectos hidroeléctricos de pequeña escala.

La Pico-generación es una oportunidad para enfrentar la crisis energética aprovechando parte del recurso hídrico que hasta el momento no ha sido plenamente explotado en nuestro país,

promocionando alternativas limpias y duraderas para la generación de energía eléctrica pensando en el medio ambiente para las futuras generaciones.

### **Referencias**

- F.de Siervo y F.de Leva, (1976), Modern trends in selecting and designing Kaplan turbines - Part I y II, *Water Power and Dam Construction*.
- A. Lugaresi and A.Massa, (1987), Kaplan turbines:Design Trends in Last Decade, *Water Power & Dam Construction*.
- Schweiger F. and Gregori, J, (1990), Analysis of Small Hydro Turbine Design, *Water Power & Dam Construction*.
- Ariel R. Marchegiani, (1997), Metodología de diseño preliminar para pequeñas turbinas de reacción, *VII Encuentro Latinoamericano en Pequeños Aprovechamientos Hidroenergéticos*, Cajamarca, Perú.
- Víctor H. Kurtz; Ariel R. Marchegiani; Orlando A. Audisio (2009). Ensayo de Una Picoturbina Pelton Compacta, de Fabricacion Local. *XIII Encuentro Latinoamericano y del Caribe Sobre Pequeños Aprovechamientos Hidroenergéticos ELPAH – Cajamarca – Perú*.
- Víctor H. Kurtz; Ariel R. Marchegiani; Orlando A. Audisio (2009B). Metodología y Ensayo de una Picotubina Pelton Compacta. *IV C3N Congresso Da Academia Trinacional de Ciencias- Foz Do Iguaçu - PR – Brasil*.