

## **DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA MICROTURBINA HIDRAULICA DE 1 KW**

**N. Cotella, P. Varela, O. Villagra, R. Kohl**

Universidad Nacional de Río Cuarto - Facultad de Ingeniería  
Ruta Nacional 36 Km. 601 - 5800 Río Cuarto (Cba.) - Argentina  
Tel. (54) 358 4676258 - Fax (54) 358 4676246  
e-mail: ncotella@ing.unrc.edu.ar

### **RESUMEN**

Este trabajo presenta el diseño y la construcción de una microturbina hidráulica destinada a zonas donde sus características geográficas y baja densidad poblacional no hagan económicamente factible el suministro de energía eléctrica por medio de líneas de transmisión y distribución, pero posean un adecuado potencial para la instalación de pequeños aprovechamientos hidroeléctricos.

El diseño y construcción de la microturbina se llevó a cabo por medio de un convenio Universidad – Empresa, lo que permitió realizar el diseño en la Universidad y la construcción en la Empresa adoptante del proyecto, con resultados altamente satisfactorios, ya que se arribó a la construcción de un prototipo industrializable, el que está en fase de ensayos.

Se demuestra que con el trabajo mancomunado Universidad – Empresa, se puede desarrollar un producto de gran importancia regional, empleando tecnología de desarrollo local y nacional, minimizando las utilización de materias primas de importación.

**Palabras clave :** Microturbinas, Energía eléctrica, Microembalses, Máquinas Hidráulicas, Generación eléctrica.

### **INTRODUCCION**

Nuestra zona de influencia está caracterizada por grandes extensiones de territorios rurales que poseen baja densidad poblacional y de consumo eléctrico, lo que hace que muchos habitantes de estas zonas se encuentren sin posibilidades de contar con el servicio de energía eléctrica.

En algunos casos la generación de energía eléctrica en estas áreas se suple con grupos electrógenos a combustibles fósiles o generadores eólicos, siendo estos últimos dependientes del viento de la zona y de sus variaciones estacionales, y los grupos electrógenos con motores de combustión interna, utilizan un recurso oneroso, no renovable y altamente contaminante.

Una de las principales fuentes de provisión de energía es un salto de agua, la que puede ser convertida en trabajo mecánico y energía eléctrica. La energía hidráulica es renovable y no contaminante. Está disponible en la mayoría de las zonas que tiene un régimen de lluvias adecuados y áreas montañosas. Nuestra zona geográfica, en especial las sierras del Sur de Córdoba están surcadas por gran cantidad de pequeños ríos y arroyos, que presentan un potencial hidráulico muy interesante desde el punto de vista de la generación de energía eléctrica, todavía inexplorado (Dolso, 1994) (Vendramini y Galanti 1994).

La conversión de la energía de un salto hidráulico en trabajo mecánico, se lleva a cabo con el auxilio de una máquina llamada turbina hidráulica. Esta producirá mas energía mecánica mientras mayor sea la altura del salto hidráulico y el caudal disponible. (ITDG, 1995).

De estas consideraciones surgió nuestro interés en el diseño y construcción de una microturbina hidráulica para asociarla a un equipo eléctrico adecuado. Con este fin y se realizó un convenio de trabajo conjunto entre la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Río Cuarto –y la Empresa Giacobone – División energía, esta última dedicada a la fabricación y comercialización de generadores eólicos y sus partes componentes,.

La misma tiene como destino el suministro de energía eléctrica a un grupo de casas o a un pequeño emprendimiento, teniendo en cuenta las características típicas de la zona, y sus disponibilidades hidráulicas, costos y necesidades energéticas. (Thornbloom, et al 1997).

### **CONDICIONES DE DISEÑO**

En la etapa previa se plantearon distintos interrogantes. Los mas importantes se centraron en definir la potencia de la máquina y altura del salto hidráulico.

A efectos de disminuir los costos de fabricación, se optó por utilizar un generador de producción en serie manufacturado por la Empresa "Giacobone División Energía", con la cual se suscribió el convenio antes mencionado, que entrega 1 KW a 2000 RPM. Esta decisión aceleró el proceso de diseño, ya que define dos variables importantes, potencia y velocidad de giro de la máquina. Esta opción se consideró adecuada ya que la energía suministrada, de 720 KW-h mensuales, es suficiente para abastecer un pequeño establecimiento o un conjunto de unas seis viviendas familiares con 120 KW-h mensuales cada una. En el orden de esta potencia, los costos de la instalación hidráulica, como ser: obra de toma, canal de aproximación y cañería forzada, no alcanzan costos elevados con respecto al valor de la máquina.

La altura del salto hidráulico, luego de estudiar posibles emplazamientos del conjunto generador se fijó de común acuerdo con la empresa adoptante en tres metros de columna de agua efectivos, lo que condujo a un caudal manejable con tuberías comerciales de PVC.

## DISEÑO

El diseño de la turbina hidráulica se basó en la elección de un modelo de la misma que cumpla con un alto rendimiento, un bajo costo de fabricación, instalación, explotación y mantenimiento.

Es de destacar que se tuvieron en cuenta en el diseño las facilidades de instalación y reparación de la máquina para hacer estas accesibles al usuario común sin la intervención de mano de obra altamente especializada.

El diseño de la misma la podemos dividir en dos grandes áreas:

1. Elementos destinados a convertir la energía del agua en energía mecánica (rodete y corona de álabes fijos).  
Rodete: dimensiones geométricas, número y disposición de los álabes.  
Corona de álabes fijos: dimensiones geométricas, número y disposición de los álabes.
2. Elementos auxiliares (árboles, carcaza, rodamientos, sellos, etc.).  
Árbol : dimensiones geométricas.  
Rodamientos y sellos: selección de los mismos.  
Carcaza: dimensiones geométricas.

La metodología de diseño tomó como punto de partida los métodos usados para máquinas de mayor porte, los que fueron adaptados a nuestras necesidades en el área de micro turbinas hidráulicas. El resultado fue la realización de una máquina de bajo costo del que se espera una óptima eficiencia y duración. Este modelo se diseñó para ser fabricado en grandes series a fin de disminuir costos. (Brizuela y Zanella, 2001)

Se prestó especial atención en elevar el rendimiento de la turbina y disminuir costos de fabricación por medio de la optimización de la velocidad de pasaje del fluido por la máquina.

## RODETE

Este elemento es el destinado a la conversión propiamente dicha de la energía del fluido en trabajo mecánico.

Considerando una máquina con un 1 KW de potencia, una velocidad de giro del generador de 2000 RPM y 3 m de altura efectiva y un rendimiento estimado del 80 %, es necesario un caudal circulante de 150 m<sup>3</sup>/h, lo que conduce a una máquina con rodete de hélice. (Polo Encinas, 1976)

El rodete obtenido del diseño se muestra en la figura 1. En ella se aprecia un rodete tipo hélice de cuatro álabes. Dichos álabes se encuentran insertos en un cubo, que posteriormente se colocara en el extremo del árbol de la turbina por medio de una unión roscada. El Rotor posee un diámetro exterior de 130 mm siendo el espesor máximo del alabe en su raíz de 4,5 mm.

Los ángulos de entrada y salida de los álabes del rotor y del estator se calcularon para un flujo de agua sin choques ni desprendimientos en las condiciones de diseño.

## CORONA DE ÁLABES FIJOS

El diseño de la misma se realizó conjuntamente y, aplicando los mismos criterios que para el rotor, con igual diámetro exterior, pero con siete álabes, según se muestra en la figura 2, los cuales tienen un espesor máximo de 2,5 mm y un cubo perforado, el cual es atravesado por el árbol de la máquina.

## CARCAZA, ÁRBOL, RODAMIENTOS, SELLOS

La carcaza es de montaje tipo curva con la entrada y salida de fluido por medio de bridas sobre tubo de 130 mm de diámetro interior; el árbol realizado en acero inoxidable de 25 mm de diámetro mayor se aloja en un porta cojinetes de poliamida con dos rodamientos de bolas y un sello cerámico para contener el agua.

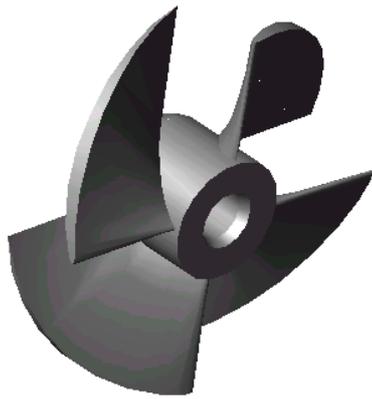


Figura 1. Vista en perspectiva del rotor.



Figura 2. Vista en perspectiva del estator

### FABRICACION DE LA TURBINA

Con el diseño de micro máquinas hidráulicas surge primordialmente el tema de los costos de fabricación y mantenimiento. Para ello se debe proyectar la máquina en función al procedimiento de fabricación específico para este tipo de equipos, a efectos de minimizar costos de manufactura y mantenimiento.

En estas máquinas, debe cuidarse en extremo las tolerancias dimensionales y las rugosidades superficiales, ya que al tratarse de equipos de reducidas dimensiones los errores relativos crecen con la reducción de las dimensiones de la máquina.

Esto toma capital importancia en la construcción de los elementos destinados a realizar la conversión de la energía hidráulica en mecánica (rodete, álabes del rodete y corona de álabes fijos), siendo necesario que estos sean precisos dimensionalmente en un todo a los resultados del diseño y que su terminación superficial (rugosidad) sea adecuada al tamaño de la máquina, sin descuidar el costo de la máquina misma.

Lo antes expresado presenta al método de fundición de precisión o microfusión como ideal para este tipo de utilización porque de él se obtienen pequeñas piezas con una alta tolerancia dimensional y cuidada calidad superficial. Mediante el procedimiento diseñado en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Nacional de Río Cuarto, con un bajo costo de fabricación (Varela et al, 1997) se obtendrán las piezas destinadas a la conversión de la energía.

El punto clave en el proceso de fabricación por fundición de precisión es la construcción del modelo de cera perdida. Este requiere de una matriz con tolerancia y rugosidades acordes a las requeridas. La Empresa Giacobone - División Energía posee la tecnología necesaria para su fabricación como ser centro de mecanizado controlado por ordenador, electroerosionadora, etc.

El diseño y la fabricación del árbol, carcasa y sellos se adaptó a lo anteriormente expuesto, priorizándose la duración, bajo costo y facilidad de instalación y mantenimiento.

La figura 3 muestra la vista en perspectiva del conjunto resultante del diseño; en el podemos apreciar las distintas partes componentes, rodetes, carcasa, árbol, rodamientos etc. La carcasa esta dividida en dos secciones, una en forma de curva y la otra cilíndrica, bridadas entre si. El ingreso de agua se produce por la brida superior, atravesando la corona de álabes fijos e incidiendo sobre el rodete móvil para ceder su energía.

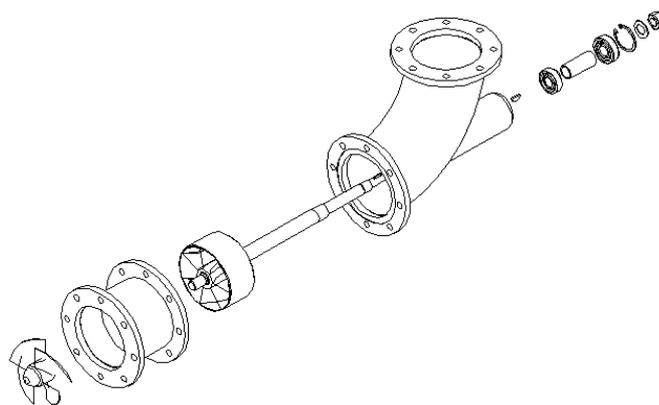


Figura 3 – Perspectiva del despiece de la turbina.

## ENSAMBLE DEL CONJUNTO TURBINA - GENERADOR

En la foto 1 podemos ver el conjunto montado; a la derecha se muestra la carcaza conteniendo la turbina, acoplada al generador que se encuentra a la izquierda de la imagen.



Foto 1 – Fotografía del conjunto turbina – generador terminado

### SISTEMA ELÉCTRICO y DE REGULACION.

De acuerdo a lo antes expuesto la empresa Giacobone fabrica generadores eléctricos y la electrónica asociada al mismo destinada al sistema regulador, el control del almacenamiento de la energía eléctrica y el acondicionamiento de dicha energía con el fin de llevarla a los puntos de consumo con una tensión y frecuencia adecuadas (inversores 220V 50 Hz).

Este generador de imanes permanentes, de tres pares de polos, gira a 2000 RPM, entregando 48 V nominales a 100 Hz en tres fases, siendo refrigerado por aire.

Posteriormente se rectifica la salida del generador y se almacena en baterías de acumuladores de plomo ácido; estas baterías también actúan como reservorio de energía eléctrica para entregarla cuando el consumo excede la potencia del generador.

Como se trata de un sistema hidráulico sin embalse, toda el agua captada debe pasar por la turbina y es transformada en energía eléctrica. El regulador de carga de las baterías deriva el excedente de energía eléctrica a una resistencia de disipación cuando éstas están a plena carga. Con esto se evita que el generador quede a cargas parciales, lo que llevaría a la necesidad de implementar un control del caudal de ingreso a la turbina para asegurar la velocidad constante de giro, evitando así sobrevelocidades peligrosas para la integridad de la turbina y el generador.

La energía eléctrica conducida a la resistencia de disipación dependerá del valor medio de la energía demandada por las viviendas. La energía disipada se puede utilizar para el calentamiento de agua o para calefacción de ambientes.

### DISCUSION

Con el diseño y la fabricación del grupo turbina generador se proveerá al medio regional de un desarrollo tecnológico para la producción de energía eléctrica, lo cual le brindará a los pobladores de zonas excluidas del sistema de distribución eléctrica la posibilidad de contar con tal suministro de manera autónoma.

Se brindará al sector de las PyMES de una nueva gama de productos para comercializar y una tecnología de fabricación alternativa, de costos reducidos. El desarrollo de nuevas tecnologías permitirá la utilización de insumos de producción regional. La creación de emprendimientos de microgeneración hidroeléctrica en nuestra zona de influencia, con la consecuente generación de puestos de trabajo. La reducción de la contaminación ambiental por: la utilización de materiales de bajo impacto ambiental en el proceso de fabricación, y el reemplazo del uso de combustibles fósiles por la alternativa propuesta, minimizando la incidencia sobre el medio ambiente.

Los ensayos, que están en etapa de implementación, conducirán a conocer el comportamiento de la máquina, en lo que hace a rendimientos, tanto de la turbina como del generador. Además de optimizar los métodos de diseño y cálculo a fin de lograr un óptimo rendimiento y a evaluar la duración del conjunto, haciéndolo compatible con el reducido costo pretendido para la máquina.

En esta fase de laboratorio se obtendrán las curvas de funcionamiento que vinculan la potencia suministrada con la altura y el caudal entregado y el rendimiento puesto en juego.

Posteriormente se procederá a realizar el análisis de los resultados y corrección de la metodología de diseño y fabricación empleada a fin de optimizar el diseño, llegando a una máquina de bajo costo, alta eficiencia y adecuada durabilidad.

## CONCLUSIONES

Es factible diseñar y fabricar una microturbina destinada a proveer de energía eléctrica a zonas excluidas de la red de distribución.

La microturbina diseñada es adecuada desde el punto de vista técnico y económico para su implementación, permitiendo llevar energía eléctrica a zonas desfavorecidas, con bajo costo y reducido impacto ambiental.

Se demuestra que con el trabajo mancomunado Universidad – Empresa, se puede desarrollar un producto de gran importancia regional, empleando tecnología de desarrollo local y nacional, minimizando la utilización de materias primas de importación.

## REFERENCIAS

- Brizuela, M. Zanella, G. (2001) Diseño y Construcción de una Microturbina tipo Kaplan para banco de ensayos– Memorias del IX Encuentro Latinoamericano y del Caribe sobre Pequeños Aprovechamientos Hidroenergéticos.
- Dolso, A. (1994.)– Evaluación geotécnica del Río Barrancas – Alpa corral, Provincia de Córdoba, aplicada a un aprovechamiento hidráulico – Tesis de licenciatura — Fac. de Ciencias Exactas – UNRC
- ITDG Intermediate Technology development group (1995) - Manual de mini y micro centrales hidráulicas – Guía para el desarrollo de proyectos — Perú.
- Polo Encinas, M.I (1976). Turbomáquinas hidráulicas. 1ra ed . Editorial :Limusa.
- Thornbloom M. Ngbangandía D. Assama, M – (1997) Using Micro Hydropower in the Zairian Village – Solar Energy . Vol 59 Nos 1-3 pp 75 81 .
- Varela, P., Cotella, N. Oviedo, O. Kohl, R. (1997) - Nuevo Procedimiento Para La Construcción De Moldes Cerámicos De Microfusion-. III Congreso anual de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Mecánica, Morelia Michoacán México.
- Vendramini, N. Galanti H. (1994) – Estudio de prefactibilidad de la presa y aprovechamiento hidroeléctrico sobre el río Los Sauces– predio “Las Guindas” UNRC. Informe final – Córdoba.

## ABSTRACT

This paper presents the design and construction of a micro hydro turbine. The micro turbine allows to provide electricity to areas with two important characteristics: they have hydro power resources that can be used, and these areas can not be connected to the electric network due to economic reasons.

A joint venture between the university and a local company was done for such a purpose. The design was done at the university and the construction at the company. A commercial prototype is finished. Actually it is under the test phase.

The project demonstrates the importance of a joint venture between the University and a private company. It allows to develop a product with high regional impact, utilizing local and national technology and minimizing the use of foreign products.

**Keywords:** micro hydro turbine, Electric power, Micro dam, Hydraulics Machines, Electric generation.