



JIDeTEV
Jornadas de Investigación y Desarrollo Tecnológico
Extensión, Vinculación y Muestra de la Producción



PRÁCTICAS FRECUENTES EN EL DISEÑO Y FABRICACION DE MICRO TURBINAS HIDRAULICAS: ESTUDIO DE CASOS¹

Ariel R. Marchegiani², Orlando A. Audisio³, Victor H. Kurtz⁴

¹ Trabajo de Investigación, Proyecto Código 04/I229 U.N.Co. – 16/I142 U.Na.M

² Director de Proyecto, Ingeniero Industrial, Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional del Comahue, Neuquén – Argentina, ariel.marchegiani@fain.uncoma.edu.ar

³ Integrante de Proyecto, Ingeniero Industrial, Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional del Comahue, Neuquén – Argentina, orlando.audisio@fain.uncoma.edu.ar

⁴ Integrante de Proyecto, Ingeniero Electricista, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones, kurtzvh@fio.unam.edu.ar

Resumen

En una producción “artesanal”, de turbinas donde generalmente realizan fabricantes locales que no se dedican exclusivamente al tema, no siempre disponen un know-how apropiado. Sus productos presentan defectos o malos diseños tanto en la parte hidráulica como mecánica, dejando como resultado máquinas que no tienen una eficiencia adecuada e inclusive un mal funcionamiento.

La producción de equipos que no cumplen adecuadamente con las prestaciones requeridas por los usuarios retrae el interés en las energías renovables, colocándola en un escenario más difícil de penetración.

En este trabajo se presentan varios casos como los mencionados anteriormente, conjuntamente con las soluciones propuestas, que surgieron a partir de los estudio realizados en el Laboratorio de Máquinas Hidráulicas de la Universidad Nacional del Comahue.

Como consecuencia y conclusión adicional surge el apoyo que deben brindar las instituciones, ONG`s (Organización no Gubernamental) y entes gubernamentales, a estos productores locales a fin de brindar un producto de calidad, que satisfaga la demanda energética con un adecuado nivel de eficiencia. En este sentido, se presentan algunos programas que están siendo llevados adelante por este laboratorio y fabricantes locales.

Palabras Clave: *Turbinas hidráulicas – Micro turbinas – Ensayos.*

Introducción

Para cualquier país en vías de desarrollo fundamentar un programa de micro y pequeñas centrales sobre la base de la importación total de los equipos, resulta poco atractivo y con múltiples dificultades.

Es necesaria la producción local del equipamiento principal, muy caro en el mercado internacional y de producción mecánica muy especializada; donde el principal valor añadido es el know-how y que con pocos materiales se logran altísimos valores de producción, lo que resulta de gran interés para la industria local.

El diseño y la fabricación de turbinas llevan aparejado un conjunto de técnicas que conforman un know-how particular que está regulado, custodiado y protegido por los

principales productores, pocos por cierto, básicamente europeos y norteamericanos. Algunos constructores de los países en vías de desarrollo producen bajo licencia de estos fabricantes de países desarrollados.

A nivel internacional, los libros de texto y los programas universitarios relacionados con la fabricación de turbinas, por lo general no pasan de criterios preliminares, dejando de lado los detalles constructivos y de diseño mecánico.

Los factores antes mencionados traen aparejado la aparición de una producción, que podríamos llamar “artesanal”, de turbinas y que es llevada adelante por fabricantes locales que no se dedican exclusivamente al tema, y que no tienen un know-how apropiado. Estos productos, muchas veces, presentan defectos o malos diseños tanto en la parte hidráulica como mecánica, dejando como resultado máquinas que no tienen una eficiencia adecuada e inclusive un mal funcionamiento.

La producción de equipos que no cumplen adecuadamente con las prestaciones requeridas por los usuarios retrae el interés en las energías renovables, colocándola en un escenario más difícil de penetración.

A continuación se presentan varios casos como los mencionados anteriormente, conjuntamente con las soluciones presentadas, que surgieron a partir del estudio de dichos casos en el Laboratorio de Máquinas Hidráulicas de la Universidad Nacional del Comahue. Todas las turbinas ensayadas pertenecen a fabricantes locales.

Casos Analizados:

Caso 1.- Pico Turbina Banki 1 kW:

El Primer caso analizado es el de una pico turbina tipo Banki (Figura 1). Se trata de una turbina Banki para bajo salto que el fabricante pretendía estandarizar para este tipo de saltos. El diseño se basó en la teoría clásica para este tipo de máquinas siguiendo la bibliografía de acceso público.

Las características de diseño de la maquina ensayada son las siguientes: (*Altura neta*) $H_N = 3$ m; (*Caudal*) $Q=65$ l/s, (*Velocidad de rotación*) $n=530$ rpm; (*Potencia prevista en eje*) $N=1234$ W; (*Ancho Efectivo*) $B=250$ mm; (*Diámetro*) $D=120$ mm; $D1/D2=0,64$, *Angulo de admisión*= 120° ; (*Nº de álabes*) $z=19$.



Figura 1

Se realizaron ensayos para una gama de alturas de $H_{N1} = 3,00$ m, $H_{N2} = 3,45$ m y $H_{N3} = 3,75$ m, a fin de comprobar la performance de la turbina a diferentes alturas. Los resultados se muestran en las figuras 2 y 3. Los mejores valores de rendimiento fueron obtenidos para una altura de ensayo de 3,75 m., alcanzándose valores puntuales de 25%.

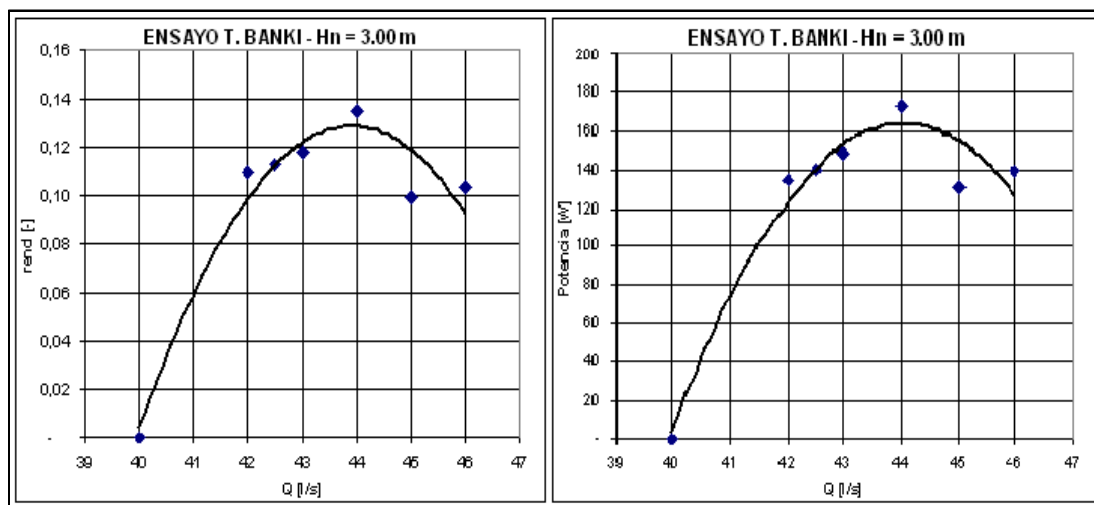


Figura 2

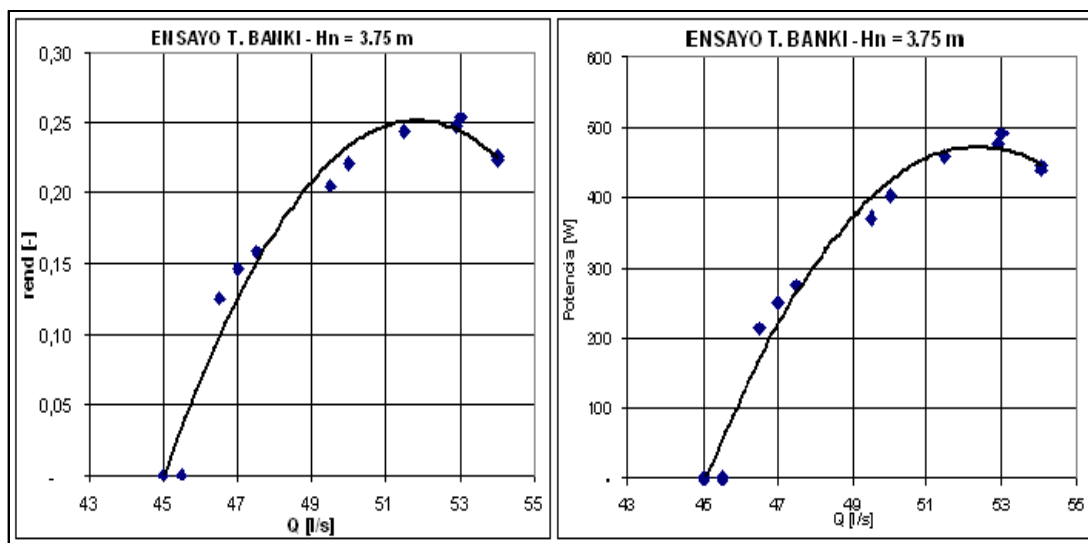


Figura 3

Como sugieren gráficos anteriores, la turbina no alcanzó el rendimiento esperado ni se logró el funcionamiento en el punto de diseño. De hecho, surge del ensayo que su punto óptimo de funcionamiento no concuerda con los valores de diseño.

Del análisis del ensayo y los resultados obtenidos, además de una inspección detallada de la turbina surge que los bajos rendimientos observados pueden deberse a defectos de fabricación en sí. Se observó el flujo en el inyector por medio de una ventana de acrílico que se colocó aprovechando una abertura de inspección, pudiendo verse desprendimientos en la acometida del flujo a los álabes, lo que restringe el caudal turbinado (figura 4).

Los detalles de fabricación que inciden en el rendimiento de esta máquina son fundamentalmente; una mala terminación de las soldaduras, huelgos muy grandes entre las piezas rotantes y estacionarias lo que produce un bajo rendimiento volumétrico, y también una mala interacción entre rotor e inyector.

Se le recomendó al fabricante de la máquina un rediseño completo de la turbina ya que, como se dijo anteriormente, era intención de éste producir esta máquina de manera estandarizada.

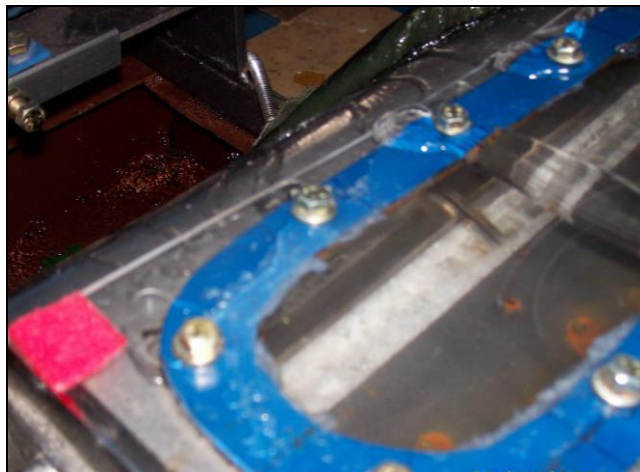


Figura 4

Caso 2.- Turbina Pelton de 3 kW

El segundo caso que se analiza es el de una turbina tipo Pelton (Figura 5). Se trata de una turbina Pelton de dos inyectores construida con accesorios galvanizados estándar. Las características de diseño de la máquina ensayada son las siguientes: H_N : 48m, Q : 16 l/s, D_p : 300 mm, N° de álabes z : 21, N° de inyectores i : 2.

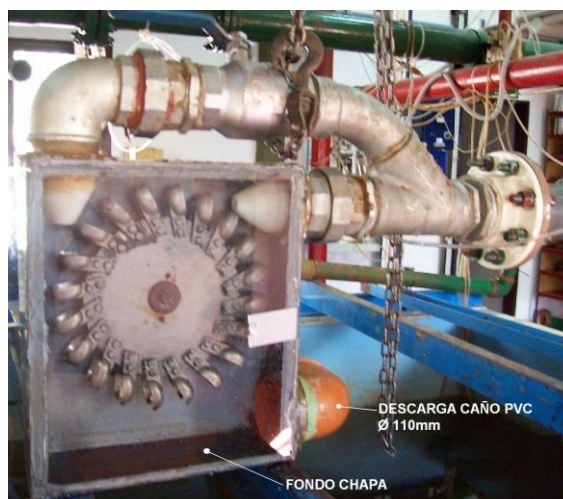


Figura 5

Una característica particular de esta máquina es que su descarga se realizaba mediante una tubería de PVC de 110 mm ya que el propietario desistió de hacer canal de descarga.

La turbina llegó al laboratorio para verificar su funcionamiento ya que la misma no podía alcanzar condiciones de régimen. Se tuvo la posibilidad de reemplazar la tapa de frontal de la carcasa por una superficie transparente a fin de analizar el comportamiento del flujo.

A pedido del cliente se realizó un ensayo a $H_n = 40$ m y $Q = 13.5$ l/s. En el mismo se verificó que la descarga de la turbina no era suficiente para evacuar el caudal por lo que la máquina se ahogaba. Esto se puede observar en las siguientes imágenes: en la figura 6 se observa el funcionamiento a los 20 segundos de iniciado el ensayo, donde es posible observar el llenado de la descarga, y el funcionamiento en los 30 segundos iniciales, donde la máquina ya está totalmente “ahogada”. Esta situación no permitía alcanzar las condiciones de régimen.



Figura 6

En la figura 7 se puede observar la descarga del caudal por la tubería de PVC de 110 mm de diámetro, lo que en el aprovechamiento, era agravado por la longitud del caño de descarga.



Figura 7

Comprobado esto se procedió a retirar el fondo de la carcasa a fin de permitir un escurrimiento adecuado del caudal y se volvió al ensayo en las condiciones mencionadas anteriormente, obteniéndose los resultados que se muestran a continuación (figura 8).

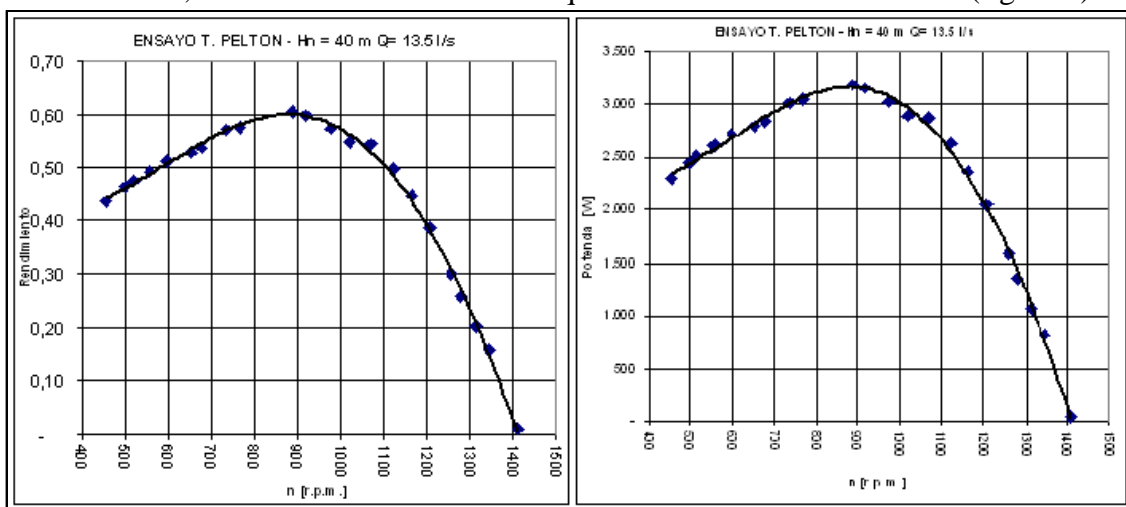


Figura 8

Como se observa, se obtuvo un rendimiento puntual del 61% para una potencia de 3,2 kW y una velocidad de rotación de 900 r.p.m.. Estos valores de rendimiento son un poco inferiores a los esperados para este tipo de máquinas.

Según el análisis realizado, esta disminución puede deberse a que el *manifold* de inyectores construido con piezas galvanizadas estándar no es de un buen diseño y que su carcasa es muy angosta influyendo en la normal evacuación del caudal turbinado.

Caso 3.- Pico Turbina Pelton de 1 kW

En el siguiente caso se presenta el ensayo de un grupo generador compuesto por una pico turbina tipo Pelton de eje vertical, y un motor asincrónico acoplado directamente a ésta, utilizado como generador. Las características de la maquina ensayada son las siguientes: Datos de diseño: H_N : 60m, Q : 13.5 l/s, n : 910 rpm, D : 120 mm, N° de inyectores i : 1, N° de álabes z : 16. El conjunto puede observarse en la figura 9. La turbina fue acoplada a una tubería de 3 pulgadas de diámetro.

El programa contempló la realización de ensayos de rendimiento para distintas velocidades de rotación y la determinación del punto de óptimo rendimiento. Esto es a fin de determinar los parámetros óptimos de funcionamiento de la máquina.

La turbina no poseía inyector con regulación por lo que el ensayo se tomó como apertura de inyector fija $A_0 = A_{0\max} = 100\%$.

El ensayo se realizó sobre el conjunto turbina generador. Como generador se utilizó un electromotor marca WEG de 1 hp y 910 r.p.m. (Fig N° 9), conectado en configuración estrella 220/380 Vac con acceso a neutro. Utilizando como excitación un banco de capacitores de $16\mu\text{F}$ (uno por fase) en configuración.

Los mejores valores de rendimiento fueron obtenidos para una altura de ensayo de 60 m alcanzándose valores puntuales de 40%. En general el rango de rendimientos es de un 30% a un 40%, con potencias de entre 400 y 500 W, con valores de frecuencia que oscilaron entre 40 y 45 Hz. Los resultados se muestran en la figura 10.



Figura 9

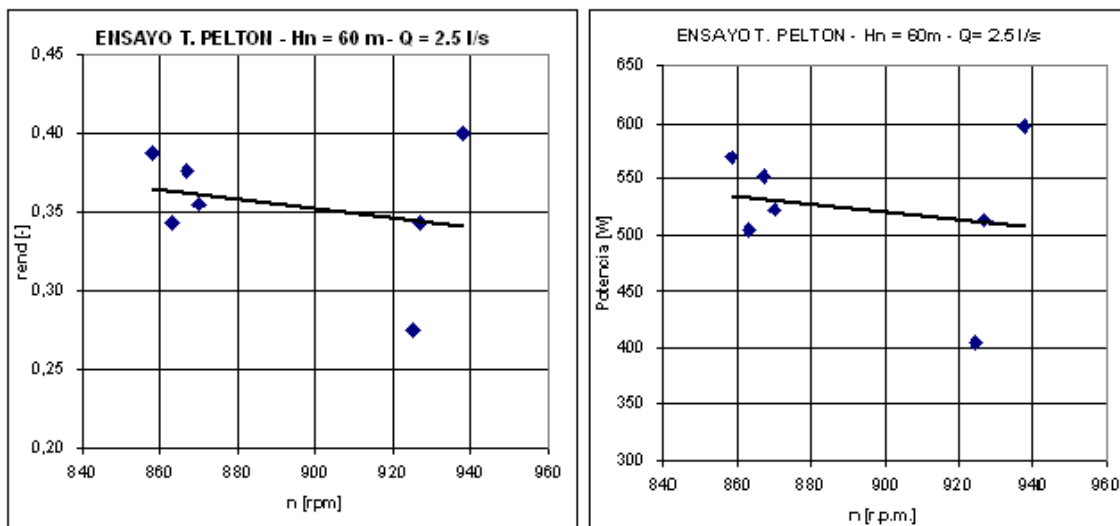


Figura 10

Durante los ensayos se obtuvo un funcionamiento muy bueno y muy estable, aunque la frecuencia no fue posible mantener dentro de valores estándares, logrando frecuencias entre 40 y 45 Hz para los mejores rendimientos y potencias.

Los rendimientos relativamente bajos observados pueden deberse a que se utilizó un motor como generador, con la consabida reducción del rendimiento cuando se utiliza de esta forma. Del análisis de los resultados surgió que el motor seleccionado para ser utilizado como generador no fue el más adecuado para este caso.

Caso 4.- Turbina Pelton de 6 kW

En el último caso se analiza el funcionamiento de un grupo generador compuesto por una turbina tipo Pelton y un generador sincrónico monofásico (Figura 11), conjuntamente con su regulador electrónico de frecuencia. Se trata de una turbina Pelton de dos inyectores de eje horizontal. Las características de diseño de la máquina ensayada son las siguientes: H_N : 38m; Q : 25 l/s; D_p : 285 mm; N° de álabes, z : 21; N° de inyectores i : 2.

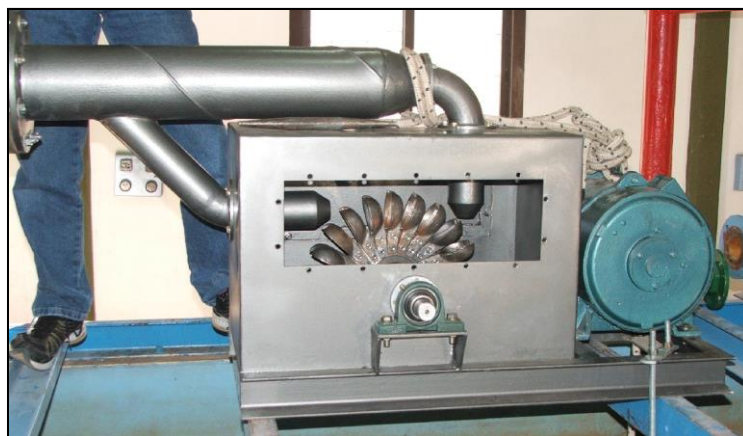


Figura 11

Esta turbina presenta un muy buen diseño y construcción. Los detalles constructivos fueron especialmente tratados por el fabricante, quien expresó que el diseño hidráulico se realizó siguiendo la bibliografía existente, de procedencia inglesa, tomándose de la misma la metodología de diseño de los inyectores (tobera), carcasa y cucharas

El ensayo se realizó conectando la turbina a una tubería de 6" de diámetro. Se suministró caudal y altura, tratando de alcanzar los valores de diseño. En la figura 12, es posible observar la máquina en el momento del ensayo.



Figura 12

Se conectó el generador eléctrico a resistencias a fin de darle la carga necesaria y medir los parámetros de funcionamiento: Altura, caudal, tensión, frecuencia y corriente generada.

Los inconvenientes encontrados durante este ensayo fueron tanto de índole hidráulica como eléctrica, tal como se explica a continuación:

- No se pudo alcanzar el punto de diseño ya que para llegar a la altura mencionada se debió aportar más caudal que el calculado. En vista de esto se fijaron los valores de ensayo en $H_n = 36$ m y $Q = 31$ l/s.
- Se logró una generación de 6111 W, que era más de lo que el fabricante esperaba. No obstante esta generación se obtuvo con valores de tensión y frecuencia no adecuados. Los valores obtenidos del ensayo fueron: 210 V y 57 Hz. Como se observa, la frecuencia está muy por encima del valor nominal (50 Hz).
- Las velocidades de rotación de la turbina y del generador fueron adecuadas. El funcionamiento de la turbina fue muy estable, y no se presentaron vibraciones apreciables. El rendimiento obtenido para el conjunto turbina generador fue de un 60%, un valor un poco por debajo de lo esperado para una máquina de estas características.

Del análisis de los ensayos surgen las siguientes conclusiones:

El problema de no alcanzar el punto de diseño se debe fundamentalmente a un diámetro de boquilla excesivo, lo que hace que la máquina demande más caudal para la altura de diseño. Esto surge de los coeficientes de boquilla adoptados de la bibliografía antes mencionada.

El hecho de la generación fuera de la frecuencia adecuada, es un problema inherente al generador sincrónico utilizado. Dicho generador no posee AVR (*Automatic Voltage Regulator*) y su generación es de mala calidad. Este es un problema recurrente con el que nos hemos encontrado en nuestro país. No existen fabricantes de generadores monofásicos (y podríamos decir que también trifásicos) de baja potencia con buena regulación de tensión. En general es muy difícil conseguir generadores sincrónicos de buena calidad por debajo de los 15 kVA.

Las recomendaciones efectuadas al fabricante consistieron en el rediseño de las toberas a fin de alcanzar el punto óptimo y en cuanto al generador; estudiar la posibilidad de equipar al mismo un AVR externo.

CONCLUSIONES

Como se pudo observar, los fabricantes artesanales de turbinas hidráulicas se enfrentan a algunos desafíos importantes en el área del diseño y construcción de pequeñas turbinas hidráulicas ya sea por falta de conocimientos, información y/o know-how adecuado. En consecuencia surge el apoyo que se debe brindar a éstos, por parte de las instituciones, ONG's y entes gubernamentales, a fin de brindar un producto de calidad, que satisfaga la demanda energética con un adecuado nivel de eficiencia. En este sentido, el Laboratorio de

Máquinas Hidráulicas de la U.N.Co. Viene llevado a cabo programas en conjunto con otras universidades como la UNaM y con fabricantes locales y a fin de lograr diseños adecuados y eficientes que permitan incrementar el interés en las energías renovables, y tratar de propiciar un escenario de penetración más favorable.

REFERENCIAS:

Marchegiani, Ariel R.; Audisio, Orlando A.; Ensayo LAMHI-1908/08-1: Ensayo para la Determinación del Campo de Operación de una Turbina Tipo Banki - Reporte Final, *Laboratorio de Maquinas Hidráulicas (La.M.Hi.), Universidad Nacional del Comahue*, Neuquén.

Marchegiani, Ariel R.; Audisio, Orlando A.; Ensayo LAMHI-1003/09-1, : Ensayo para la Determinación del Campo de Operación de una Turbina Tipo Pelton de Eje Horizontal - Reporte Final, *Laboratorio de Maquinas Hidráulicas (La.M.Hi.), Universidad Nacional del Comahue*, Neuquén.

Marchegiani, Ariel R.; Audisio, Orlando A.; Ensayo LAMHI-1108/08-2, : Ensayo para la Determinación del Campo de Operación de una Turbina Tipo Pelton - Reporte Final, *Laboratorio de Maquinas Hidráulicas (La.M.Hi.), Universidad Nacional del Comahue*, Neuquén.

Marchegiani, Ariel R.; Audisio, Orlando A.; Ensayo LAMHI-2506/09-2, : Ensayo para la Determinación del Campo de Operación de un conjunto Turbina Tipo Pelton de Eje Horizontal y Generador Sincrónico - Reporte Final, *Laboratorio de Maquinas Hidráulicas (La.M.Hi.), Universidad Nacional del Comahue*, Neuquén.

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.*