

## **DESARROLLO DE PICOTURBINAS HIDRÁULICAS DE REDUCIDO COSTO PARA GENERACIÓN ELÉCTRICA AISLADA.**

N. Cotella, P. Varela, S. Antonelli, J. Ramoska, A. Manelli  
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:** La alternativa de brindar energía eléctrica por medio de una pico turbina hidráulica y un generador eléctrico no esta extendida en la República Argentina todo lo esperado, a pesar de contar con numerosos cauces aprovechables. Entre las posibles causas se destacan los elevados costos de diseño, fabricación, instalación y operación de las máquinas hidráulicas específicas para cada aplicación.

En el presente trabajo se evalúa el diseño y construcción de prototipos de pico máquinas hidráulicas. A estas máquinas se las sometió a ensayos a fin de validar el procedimiento de cálculo, corregir desviaciones, y establecer rango de aplicación.

Del análisis de los datos obtenidos de los ensayos se concluye que el procedimiento de cálculo y diseño es adecuado. Se propone la utilización de técnicas de fabricación basadas en la soldadura de materiales termoplásticos por microondas, lo que permite disminuir los costos de producción masiva, facilitando su inserción en el mercado.

**Palabras clave:** Pico turbinas, Fabricación, Ensayos, Máquinas Hidráulicas, Generación aislada, Soldadura de plásticos.

### **INTRODUCCION**

Las áreas rurales marginales presentan inconvenientes en el suministro de energía eléctrica por medio de líneas convencionales de transmisión y distribución, este hecho se debe a que las mismas poseen un alto costo, agravado por el hecho de poseer una baja densidad de utilización (son zonas de baja densidad de carga). Todo ello conduce a la privación a los habitantes de dichas zonas, de los beneficios que provee la electricidad: iluminación, refrigeración, radio, televisión, comunicaciones, computadoras, generación de fuentes de trabajo, etc. (Greenpeace International, 2002).

La producción de energía eléctrica en las zonas rurales marginales, puede realizarse, aprovechando la energía disponible en un salto hidráulico por medio de una turbina hidráulica y un generador eléctrico. La turbina hidráulica producirá más energía mecánica mientras mayor sea el producto entre la altura del salto hidráulico y el caudal disponible (Cunningham y Atkinson, 1994). Las turbinas de reducida potencia se denominan picomáquinas o pico turbinas hidráulicas, y son de potencias menores a 10 KW.

Las plantas de energía micro hidroeléctrica son más confiables y eficaces que aquellas que utilizan combustibles fósiles para pequeños requerimientos. Esto ha producido en diversos países del mundo una proliferación de pequeñas estaciones generadoras hidroeléctricas distribuidas dondequiera que se disponga de un suministro de agua técnicamente aprovechable y la necesidad de electricidad (Ecoliving New Zealand, 2003). Existen numerosos casos de micro aprovechamientos hidroeléctricos estudiados (Khennas S. y Barnett A. 2000) en distintas partes del mundo, donde se pone de manifiesto el potencial micro hidroeléctrico y los beneficios económicos y sociales de llevar a cabo tales instalaciones. Canadá pone especial énfasis en la reducida contaminación que trae aparejado el uso y aplicación de este tipo de aprovechamientos (BC Hydro, 2004). Otros estudios ponen de manifiesto la importancia que se otorga a los micro aprovechamientos hidroeléctricos en países como Ecuador, mediante la acción del Banco Mundial, (Taylor, 2004) entre otros.

Los trabajos que se llevan a cabo en el Laboratorio de Máquinas Térmicas e Hidráulicas (LMTH) de la Facultad de Ingeniería (FI) de la Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC), tienen por objeto sistematizar una metodología de cálculo, diseño, fabricación y ensayos de pico turbinas hidráulicas destinadas a generación de energía eléctrica para consumidores aislados. La fabricación de las máquinas hidráulicas se aborda con nuevas tecnologías, algunas disponibles industrialmente y otras desarrolladas especialmente por un grupo de trabajo del Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM) de la FI de la UNRC, todo ello conducente a obtener una disminución de costos de producción de picomáquinas hidráulicas. Estas pico turbinas están siendo aplicadas a pequeñas instalaciones que presentan distintas combinaciones de altura – caudal en su salto hidráulico, y en consecuencia, satisfacen los requerimientos energéticos de zonas rurales marginales.

En el diseño de pico turbinas hidráulicas debe plantearse como meta principal lograr un elevado rendimiento en la conversión de la energía hidráulica disponible en el salto, con mínimos costos de fabricación, maximizando la energía obtenible del salto. Para ello debe utilizarse una máquina de la potencia y del tipo constructivo adecuados, tal que permita el mayor rendi-

miento de acuerdo al sitio de emplazamiento. Las formas constructivas actualmente disponibles son conocidas como: turbinas tipo Francis, Pelton y Axial o Hélice, y la selección de la más adecuada se realiza teniendo en cuenta las disponibilidades de altura, caudal y los requerimientos en lo que hace a velocidad de giro.

Las innumerables combinaciones entre potencias obtenibles y tipos de turbinas conducen a una difícil estandarización de un tipo constructivo de máquina, ya que la potencia disponible depende del producto entre la altura y el caudal disponible y el tipo de máquina necesario, de la relación entre estos parámetros. Esta falta de estandarización de las máquinas hidráulicas no afecta a los grandes aprovechamientos hidroeléctricos, donde las máquinas se diseñan y construyen “a medida”, gracias a elevados presupuestos. Sin embargo, ello trae aparejado un elevado costo de producción cuando se trata de picomáquinas hidráulicas, lo cual en muchos casos, hace imposible económicamente la instalación y aprovechamiento de las mismas.

En los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos, es necesario contar con máquinas hidráulicas que realicen la conversión de la energía disponible en el curso de agua con elevada eficiencia, y que tengan bajo costo de diseño, fabricación, instalación y mantenimiento. De la experiencia acumulada con anterioridad surge la necesidad de construir una amplia gama de tipos de pico turbinas hidráulicas, cuyos procedimientos de cálculo, diseño y fabricación se ajusten a fin de proveer un rápido diseño para dar pronta respuesta a cada una de las aplicaciones específicas.

El diseño de cada máquina debe realizarse en conjunto con la selección del procedimiento de fabricación adecuado para disminuir los costos de elaboración y mantenimiento de la misma, los que aunados a una adecuada vida útil, conducen a una máquina comercialmente competitiva.

### **CÁLCULO Y DISEÑO DE LOS ELEMENTOS COMPONENTES DE LA MÁQUINA.**

El cálculo de este tipo de turbinas comenzó varias décadas atrás y con el transcurso del tiempo se perfeccionaron sus métodos. Con el advenimiento del cálculo asistido por computadora (Göde y Cuénod, 1998) y la simulación de las distintas condiciones de trabajo a que será sometida la máquina se llegó a un estado actual del arte del cálculo de las máquinas hidráulicas donde es posible un diseño que permita obtener una máquina de alto rendimiento en la transformación energética. Esta metodología es empleada a diario para el diseño de máquinas de gran porte (Klimovich, 1997). Aquí los costos que insumen las etapas de diseño, fabricación y explotación de la máquina son amortizados a lo largo de la vida útil de la central a las que son destinadas y se tienen en cuenta en la financiación de la misma.

En el área de las picomáquinas hidráulicas destinadas a generación aislada, en especial para uso particular o doméstico, los costos de diseño y fabricación inciden marcadamente en el precio de venta del equipo, los que sumados a los costos de explotación a lo largo de su vida útil llevarán a una instalación que debe competir con otros sistemas de suministro eléctrico.

El proyecto hidráulico de las máquinas se ajustó a una metodología tradicional de cálculo y diseño de picomáquinas hidráulicas, continuando los lineamientos propuestos por este grupo de trabajo en casos anteriores (Cotella et al., 2002). Se obtuvo el tipo de máquina hidráulica (Francis, hélice) y las características geométricas de los elementos destinados a la conversión de la energía (rotor y estator), estas son las piezas que adquieren mayor importancia pues son las que condicionan de manera preponderante el rendimiento de la máquina hidráulica.

Esta metodología de cálculo se sustenta en los principios de la dinámica de los fluidos, de las turbo máquinas hidráulicas, de la mecánica estructural, de la ciencia de materiales y de la tecnología de fabricación. Estas consideraciones en conjunto aseguran una adecuada vida útil de la máquina con el menor costo. Optimizando estos cálculos en lo que hace a rapidez de obtención de resultados y confiabilidad de los mismos, por medio de programas de cálculo y simulación computarizados destinados al estudio de los fluidos en movimiento, las máquinas hidráulicas y el diseño y optimización de las mismas.

El cálculo, diseño, selección de materiales y métodos de fabricación de los elementos que no son destinados a la transferencia de energía (cubo, eje, carcasa, sellos, acoples, entre otros) seguirá los lineamientos generales a lo anteriormente expuesto, priorizándose la duración, bajo costo y facilidad de instalación y mantenimiento.

### **CONSTRUCCION DE LAS PICOTURBINAS HIDRAULICAS.**

A continuación se presentan las etapas atinentes a la construcción de los órganos destinados a la transferencia de energía del agua de dos máquinas tipo, debido a que estos adquieren fundamental importancia en lo que hace a rendimiento de la transformación energética y costos de diseño, fabricación y mantenimiento. Estas picomáquinas fueron construidas en el Establecimiento Industrial Giacobone División Energía ([www.giacobone.com](http://www.giacobone.com)), por medio de un convenio de transferencia tecnológica entre la Universidad y dicha Empresa.

#### *CASO 1 – Turbina tipo Hélice*

El rodete es el elemento destinado a la conversión propiamente dicha de la energía del fluido en trabajo mecánico (Zanella et al., 2001). En el caso estudiado, para una altura efectiva de 3m y un caudal disponible de 150 m<sup>3</sup>/h se pudo obtener una máquina con un 1KW de potencia, funcionando a una velocidad de 2000 RPM, esto tomando como hipótesis que el rendimiento de la transformación energética alcanza el 80%. La máquina obtenida resultó ser de bajo número específico de revoluciones, propio de una máquina con rodete de hélice (Polo Encinas, 1976).

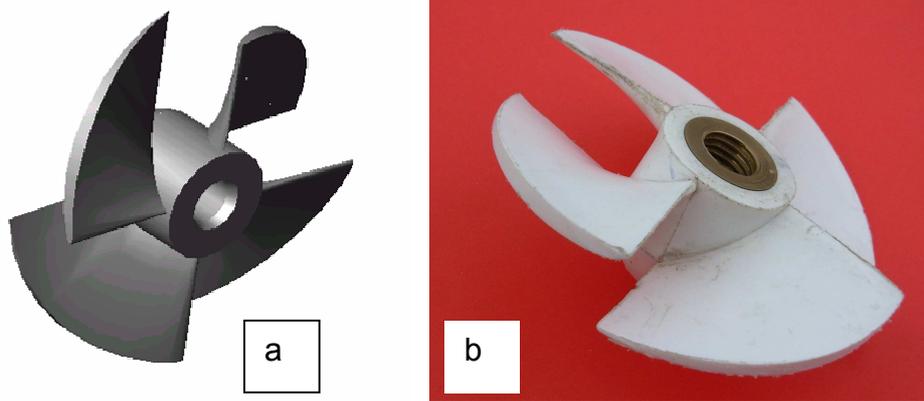


Figura 1. Vista en perspectiva del rodete – a) Diseño. b) Rodete construido por inyección de termoplástico.

En la figura 1a se muestra el rodete diseñado con un programa de diseño asistido por computadora (CAD). En ella se aprecia un rodete tipo hélice de cuatro alabes de perfil alar. Dichos alabes se encuentran formando una única pieza con el cubo, el que posteriormente se fijará 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.

La decisión de seleccionar perfil alar en la construcción de los alabes, se basó en el objetivo de poner a punto un procedimiento de diseño y fabricación para este tipo de turbinas hidráulicas que logre un elevado rendimiento (Williams, 1999). Los ángulos de entrada y salida de los alabes del rotor y la corona directriz se calcularon para un flujo de agua sin choques ni desprendimientos en las condiciones de diseño.

En la figura 1b se muestra el rodete obtenido por inyección de polipropileno reforzado con fibras de vidrio en una matriz de acero. Aquí deben controlarse 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 conduciendo a mermas en el rendimiento. El alto costo de la fabricación de la matriz metálica para la inyección del termoplástico hace a este procedimiento oneroso para la fabricación de pequeñas series de picoturbinas hidráulicas.

#### CASO 2 – Turbina tipo Francis

En este caso los parámetros disponibles son de 17 metros de altura efectiva y 54 m<sup>3</sup>/h de caudal circulante promedio, estos parámetros conducen a un número específico de revoluciones propio de una máquina tipo Francis lenta ( $ns = 80$ ). Con este diseño se obtuvo una máquina con un 1,5 KW de potencia en el eje para una velocidad de giro del generador de 2000 RPM y un rendimiento de la transformación energética estimado del 80 %.

En la figura 2a se muestra el diseño del ensamble de la máquina hidráulica completa dentro de su carcasa, que incluye el distribuidor y cámara espiral.

En la figura 2b se muestra la fotografía del rodete construido, con un diámetro de 120 mm perteneciente al prototipo de la máquina. A este se lo construyó por medio de mecanizado y soldadura de las partes componentes por medio de un sistema CAD-CAM. Este sistema de fabricación es adecuado para un prototipo, pero al momento de producir cantidades masivas de picomáquinas, resulta lento y oneroso.

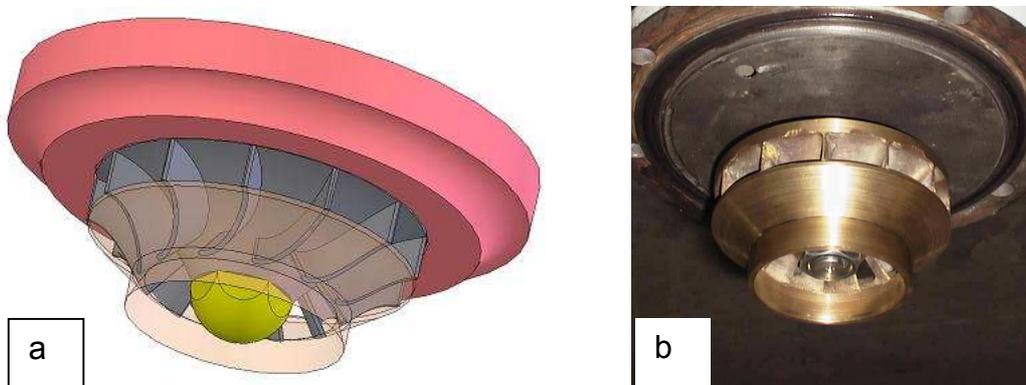


Figura 2. a) Diseño de la máquina. b) Prototipo construido

En la figura 3a se muestra la fotografía de una picoturbina tipo hélice de 1 KW de potencia eléctrica que opera con 3 m de altura y un caudal de 50 litros/segundo al momento de su montaje. La Figura 3b presenta una picoturbina tipo Francis de 1,5 KW de potencia eléctrica que opera con 17 m de altura y un caudal de 15 litros/segundo. En la fotografía se observa la misma en los talleres de la fábrica Giacobone, luego del montaje final y lista para su instalación y ensayos.

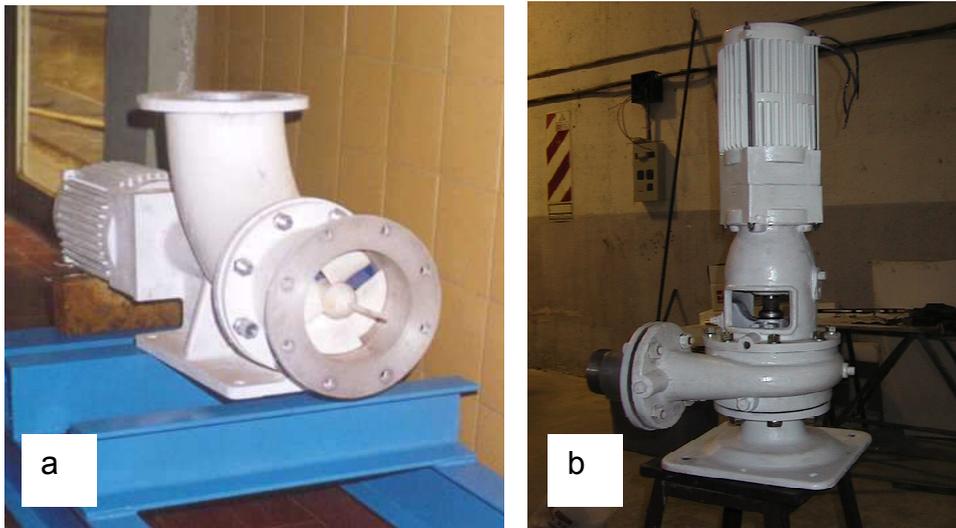


Figura 3 a) Turbina tipo hélice b) Turbina tipo Francis previo a su instalación.

*Ensayos de la picoturbina hidráulica:*

Objetivo de los ensayos (Cotella et al., 2005): Los prototipos de picoturbinas hidráulicas producidos se montan en un banco de ensayos a fin de obtener sus características reales de operación. Estas vinculan la potencia obtenida, la velocidad de giro y el rendimiento con los parámetros hidráulicos de entrada (altura y caudal). Este tipo de ensayos permite verificar las prestaciones de las máquinas producidas y ajustarla a normas (Micro Hydro Quality Standards, 2005).

A fin de caracterizar una turbina, es menester realizar mediciones de la presión manométrica diferencial en ella, del caudal circulante y de la potencia mecánica que ésta entrega, como así también la velocidad de giro. El banco de ensayos, en su concepción más simple consta de una bomba centrífuga, la cual impulsa el fluido a través de un circuito cerrado que contiene la turbina en ensayo y los elementos de medición de los distintos parámetros. En la figura 4 se muestra la disposición en el banco de ensayos de la turbina de hélice.

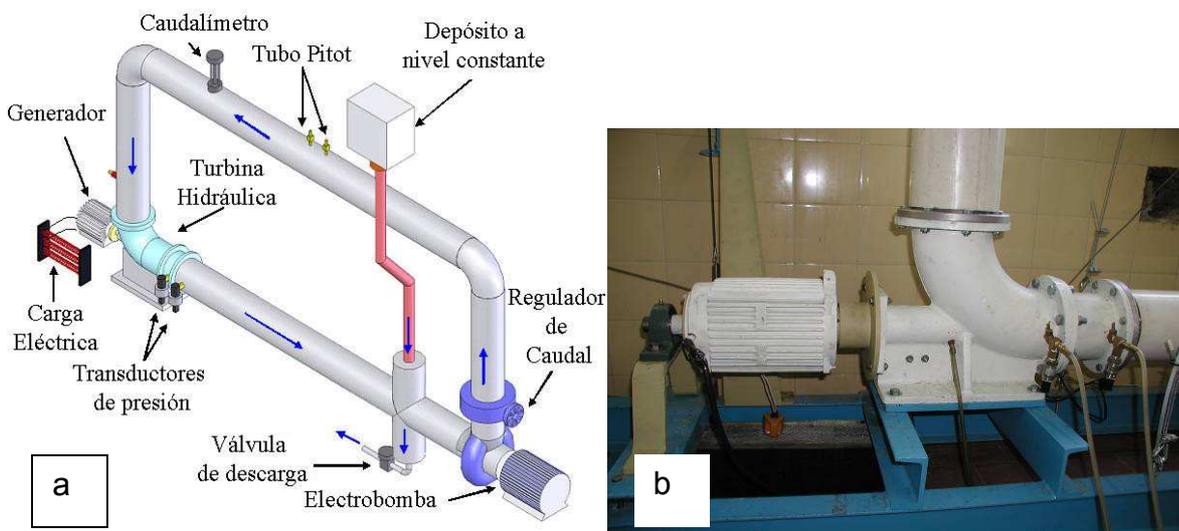


Figura 4 a) Esquema del banco de ensayos para turbina hélice. b) Disposición de una turbina hélice durante los ensayos.

La medición del caudal se realiza por medio de un caudalímetro a turbina de inserción. La determinación de la presión diferencial a extremos de la turbina, por medio de un manómetro diferencial con salida de señal eléctrica. Ambos parámetros son obtenidos directamente en la computadora que controla el proceso mediante un sistema de adquisición y procesamiento de datos.

La potencia mecánica se mide por medio del montaje de un generador eléctrico, con su carcasa en péndulo. Esta disposición permite independizarse de las pérdidas en el mismo y así obtener los valores de potencia mecánica al eje de la turbina. Para la lectura se dispuso una celda de carga a un brazo solidario a la carcasa, el cual permite medir el par aplicado.

La velocidad de giro se determinó midiendo la frecuencia de salida de la corriente generada por el freno y la carga es impuesta al generador eléctrico por medio de resistencias ajustables. La coordinación de las mediciones se lleva a cabo por medio de una computadora personal y un sistema de adquisición de datos. El software utilizado es el LABVIEW, el cual se programó para efectuar la colección y acondicionamiento de los datos obtenidos durante el ensayo.

Los ensayos se realizan variando la altura y el caudal que opera sobre la máquina; registrando los parámetros de funcionamiento para cada juego de valores considerado, esto arroja como resultado la potencia entregada y el rendimiento de la conversión de la energía para cada valor de entrada.

## RESULTADOS.

En la siguiente secuencia de gráficos se muestran la altura neta, la potencia mecánica y el rendimiento de la transformación energética, tomando como variable independiente al caudal, para diferentes velocidades de rotación de la turbina hélice.

Los datos obtenidos pueden resumirse en el diagrama colinar (Audisio, 2001) presentado en la figura 5, donde se correlaciona en un mismo gráfico rendimiento, altura y caudal.

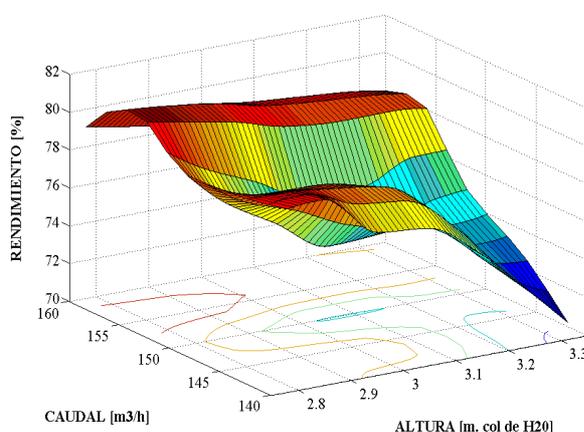


Figura 5. Diagrama colinar rendimiento de la transformación energética altura – caudal para turbina hélice.

El rendimiento de la transformación energética, cercano al 80%, obtenido de la transferencia de energía agua rodete. Este rendimiento se considera muy adecuado para pico turbinas (Marchegiani y Audisio, 1999), a este valor deben descontarse las pérdidas en el eje para obtener la potencia mecánica efectiva y las pérdidas en el generador para obtener la potencia eléctrica en bornes.

El máximo rendimiento de la transferencia de energía entre el fluido y el rodete se obtiene para valores de caudal y altura próximos a los de diseño. La potencia transferida aumenta para mayores caudales y alturas, manifestándose una leve disminución en el rendimiento de la transformación energética.

Una importante aplicación de las curvas de utilización es la extensión del rango de aplicación de las pico turbinas hidráulicas. Con ellas se puede evaluar la incidencia de los costos de diseñar y construir una picomáquina para una combinación específica de altura caudal, o mediante la aplicación de las curvas de utilización se puede evaluar la posibilidad de operar una determinada máquina existente con un rendimiento menor al óptimo (fuera del punto de diseño). Esto permite reducir la cantidad de picomáquinas hidráulicas distintas a producir, minimizando así los costos y tiempos de provisión.

Otro caso en estudio es la posibilidad de que varias máquinas pequeñas trabajen en conjunto para brindar una mayor potencia instalada, frente a la colocación de una única máquina de mayor porte. Esto permite satisfacer la demanda con máquinas pequeñas, lo que redundaría en una disminución de costos de desarrollo y fabricación frente a máquinas de mayor tamaño. La subdivisión de la potencia instalada asegura el servicio, considerando que en una instalación que posea varias máquinas de menor porte la salida de servicio programada (mantenimiento) u ocasional (falla) de una de estas permitirá la continuidad del servicio, con potencia restringida. Además permitirá diseñar una obra en su totalidad e ir incorporando las máquinas a medida que sean necesarias o se incremente la demanda de potencia, disminuyendo el costo inicial de la obra. En caso de disminución del caudal aportado por el curso de agua es factible sacar de servicio algunas máquinas y así permitir que las restantes funcionen en su punto óptimo de diseño.

## **PROPUESTA PARA DISMINUIR COSTOS DE FABRICACION DE LAS MÁQUINAS HIDRAULICAS.**

La producción de piezas componentes de materiales termoplásticos está sujeta a la construcción de costosas matrices metálicas, para poder inyectar en ellas el material en estado semisólido. La elaboración de dichas matrices se justifica cuando se planifica producir una cantidad importante de piezas, puesto que en ellas se puede dividir el costo de amortización de tan costoso elemento. En estas condiciones, la producción de pequeñas series de piezas resulta excesivamente onerosa por unidad elaborada.

Existen procesos alternativos de producción, tradicionalmente utilizados en metales, estos se basan en el empleo de técnicas de soldadura. Sin embargo dicho proceso presenta serias dificultades cuando se intenta unir piezas de materiales termoplásticos, debido a las bajas conductividades térmicas y eléctricas de éstos últimos, lo cual imposibilita el empleo de las técnicas de soldadura utilizadas en los metales, en los materiales termoplásticos.

Para la fabricación de rotores y estatores de las pico turbinas hidráulicas se propone estudiar la factibilidad de aplicación de técnicas de soldadura de materiales termoplásticos recientemente desarrolladas en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Río Cuarto (Varela et al., 2003, 2005a, 2006), basadas en el empleo de juntas que contienen polímeros conductores (Varela et al., 2004, 2005b), bajo la acción de energía de microondas. El Desarrollo de tecnologías de soldadura de materiales termoplásticos se basan en la utilización de polímeros conductores de la electricidad, y a la acción de energía de microondas para promover la unión por soldadura de dichos materiales, en tiempos muy reducidos, y con un bajo costo operativo, operando a distancia.

La aplicación de las técnicas de soldadura conducirá a la disminución de costos de fabricación de partes componentes de las turbinas de materiales termoplásticos, debido a que son piezas que poseen un número determinado de componentes idénticos (alabes). Dichos elementos pueden ser fabricados individualmente utilizando una matriz de costo más reducido para dicho elemento, y luego aplicar las tecnologías de soldadura, para el ensamblaje de los mismos. Además los rotores, en especial tipo Francis y estatores poseen cavidades internas de forma complejas, lo que lleva a la necesidad de producir costosas matrices desarmables en múltiples partes a los efectos de poder retirar la pieza inyectada. Por las técnicas de soldadura mencionadas se podrán elaborar cada una de ellas por separado, en matrices sencillas, procediéndose al ensamblado final por soldadura.

El empleo de las técnicas de soldadura, permite variar el número de alabes a ser adheridos, lo cual facilitará el estudio de la optimización de la relación entre: número de alabes, rendimiento y costos. Todo ello redundará en una significativa disminución de costos, y en consecuencia hará más accesible la provisión de electricidad para los habitantes de zonas marginales.

### **CONCLUSIONES.**

En virtud del trabajo realizado se demuestra que fue posible realizar el diseño, fabricación y ensayos de pico turbinas hidráulicas destinadas a proveer de energía eléctrica a zonas excluidas de la red de distribución con bajo costo y reducido impacto ambiental.

Con los resultados de los ensayos de banco se procedió a la evaluación de las máquinas fabricadas, desde el punto de vista del rendimiento y potencia obtenida en banco, en contraste con el previsto en el diseño y la simulación. Esto permitió retroalimentar el diseño de las picomáquinas para ajustar los parámetros a efectos de lograr procedimientos de diseño que maximicen el rendimiento minimizando los costos.

Con el estudio de la aplicación de los métodos de soldadura de plásticos por microondas en la fabricación de pico turbinas se propende a disminuir los costos de fabricación para poder ampliar la oferta de picomáquinas aplicables a distintos emplazamientos.

El trabajo mancomunado Universidad – Empresa, permite desarrollar productos adecuados desde el punto de vista técnico y económico, de gran importancia regional, empleando tecnologías de desarrollo local y nacional, minimizando la utilización de materias primas de importación, brindando a los pobladores de zonas excluidas del sistema de distribución eléctrica la posibilidad de contar con tal suministro de manera autónoma.

### **REFERENCIAS.**

- Audisio O. (2001) Banco de ensayos para pequeñas turbinas hidráulicas – Memorias del IX Encuentro Latinoamericano y del Caribe sobre Pequeños Aprovechamientos Hidroenergéticos
- BC Hydro. (2004) Handbook for Developing MICRO HYDRO In British Columbia March 2004.
- Cotella N. Antonelli S. Baglioni M. Ramoska J. (2005) Diseño, Construcción y Ensayos De Una Picoturbina Hidráulica. Primer Congreso Nacional de Hidrógeno Y Fuentes Sustentables De Energía (Hyfusen 2005).
- Cotella, N. Varela, P. Villagra, O. y Kohl, R. (2002) Diseño y construcción de una microturbina hidráulica de 1 KW. Revista avances en energías renovables y medio ambiente (Averma) ISSN 0329-5184.
- Cunningham P. y Atkinson B. (1994) - Micro Hydro Power in the Nineties - Home Power #44 • pp 24-28.
- Göde, E. y Cuénod R. (1998) Numerical simulation of flow in a hydraulic turbine. Sulzer-Escher Wyss – Internal communication – Zurich – Switzerland.

- Greenpeace International (2002). Sustainable Energy for Poverty Reduction: an Action Plan. Intermediate Technology Development Group. The Schumacher Centre for Technology and Development - Greenpeace International Climate Campaign United Kingdom
- Khennas S. y Barnett A. (2000) Best Practices For Sustainable Development Of Micro Hydro Power In Developing Countries Final Synthesis Report - The Department for International Development, UK and The World Bank.
- Klimovich, V. (1997). On the optimal design of the form of hidroturbine impeller blades. The B.E. Vedeneev all Russian Research Institute of Hydraulic Engineering (VNIIG), St. Petersburg, Russia – Structural Optimization 13, 29-35 – Sprintger-Verlag.
- Marchegiani, A. Audisio O. (1999) Ensayos de una turbina de flujo axial de fabricación local Memorias del XIII Encuentro Latinoamericano y del Caribe sobre Pequeños Aprovechamientos Hidroenergéticos.
- Micro Hydro Quality Standards (2005). Alternate Hydro Energy Centre Indian Institute of Technology - Uttaranchal, India.
- Polo Encinas, M. (1976) Turbomáquinas hidráulicas. 1ra ed. Editorial: Limusa.
- Taylor S. (2004) Stimulating the market for pico-hydro for low-income households in Ecuador World Bank – Energy Sector Management Assistance Programme (ESMAP). IT Power, UK; TramaTecnoAmbiental – Ecuador
- Varela P, Kunusch Micone M, Miras M, Barbero C. (2005), “Utilizacion De La Absorción De Microondas Por Polímeros Conductores Para La Soldadura De Polímeros Termoplásticos”. ARCHIPOL'05 - III Argentine-Chilean Polymer Symposium - VII Argentine Polymer Symposium - VII Chilean Symposium of Polymer Chemistry and Physical-Chemistry. Los Cocos, (Cba.), Argentina
- Varela P. Kunusch Micone M. Pannunzio Miner E. Echevarria R. y Barbero C. A. (2004), “Caracterización De Soldaduras De Polímeros Termoplásticos Efectuadas Con Microondas”. Jornadas CONAMET/SAM 2004, La Serena, Chile- Pág. 731 – 735.
- Varela P. Kunusch Micone M. y Barbero C. (2005a), “Utilización De Ultrasonidos Para La Determinación De Calidad De Soldaduras Realizadas En Polímeros Termoplásticos Utilizando Polímeros Conductores Y Microondas”. Congreso Binacional SAM-Conamet Jornadas Memat (2005b), Trabajo N° 236. Mar del Plata. ISBN 987-22443-0-8.
- Varela P. Kunusch Micone M. Miras M. Riccetti M. Acevedo D. y Barbero C. (2004), “Utilización De Polímeros Conductores Para La Soldadura De Materiales Termoplásticos”. Jornadas Conamet/SAM 2004, La Serena, Chile.- Pág. 725 – 730.
- Varela P. Kunusch Micone M. Miras M. y Barbero C. (2003). “Soldadura De Polímeros Termoplásticos Utilizando Microondas”. Evento: Jornadas Sam – Congreso Conamet – Simposio Materia.
- Varela P. Kunusch Micone M. Miras M. y Barbero C. (2006) Nueva Tecnología Para La Soldadura De Materiales Termoplásticos.- V Taller Iberoamericano sobre Educación en Ciencia e Ingeniería de Materiales. Huerta Grande (Cba.),- pp 135-137.- ISBN-10: 987-1171-40-4.- ISBN-13: 978-987-1171-40-8.
- Williams A.A. (1999) – Turbinas de hélice para pico centrales hidráulicas – HIDRORED – Red Latinoamericana de Micro Hidroenergía 1/99 – ISSN 0935-0578
- Zanella, G. Tagliavere E. Brizuela, M. y Zanella P. (2001) Microcentrales hidroeléctricas aplicables a recursos de baja altura y elevado caudal – Memorias del IX Encuentro Latinoamericano y del Caribe sobre Pequeños Aprovechamientos Hidroenergéticos.

**ABSTRACT:** The alternative to produce electric energy using a pico hydraulic turbine and an electric generator has not been fully explored in Argentina, considering the numerous profitable small rivers present in this country. Among all the possible causes, we can mention the high costs of: design, production, installation, and operation of the hydraulic machine for each application.

In this work, the design and construction of pico hydraulic machines is evaluated. Exhaustive tests have been performed in order to validate the calculation procedure, to correct deviations, and to establish the range of application.

The use of the production techniques based on the welding thermoplastic materials based on microwaves is proposed, this techniques allow reducing the production cost. Results show the capability of the calculation and design procedure.

**Keywords:** Pico hydropower, Hydraulic machines, off grid generation, welding of plastics.