

---

## **DESAFIOS AMBIENTALES PARA USO DE LA HIDROGENERACIÓN**

### **ENVIRONMENTAL CHALLENGES FOR THE USE OF HYDROGENERATION**

---

**Teresa Reyna<sup>1</sup>, Santiago Reyna<sup>1</sup>, María Lábaque<sup>1</sup>, César Riha<sup>1</sup>, Carlos Góngora<sup>1</sup>**

(1) Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales,  
Av. Vélez Sarsfield 1611, Ciudad Universitaria, Córdoba – Argentina  
(e-mail: teresamaria.reyna@gmail.com)

---

*Recibido: 25/01/2017 - Evaluado: 01/04/2017 - Aceptado: 20/04/2017*

---

#### **RESUMEN**

El Cambio Climático es causado entre otros factores por las actividades humanas a través de la emisión de CO<sub>2</sub> y otros gases. Gran parte de estas emisiones provienen del sector energético. La solución al problema pasa por un cambio en el sistema energético, que es posible con una mayor participación de las energías renovables. Promover sus tecnologías ofrece doble ventaja: diversificación energética y la esperanza de desarrollo para comunidades pobres y aisladas sin posibilidad de conexión a la red eléctrica. Por esta razón en la Universidad Nacional de Córdoba, se vienen desarrollando máquinas hidráulicas en pequeña escala que puedan desarrollarse completamente en forma local e instalarse en zonas aisladas de la Provincia de Córdoba Argentina. En este artículo se describen las principales características adoptadas para el desarrollo y construcción de dos microturbinas: Michell – Banki y Hélice. Se describen también las simplificaciones adoptadas para hacerlas accesibles tecnológicamente y económicamente.

#### **ABSTRACT**

Climate Change is caused among other factors by human activities through the emission of CO<sub>2</sub> and other gases. Most of these emissions come from the energy sector. The solution to the problem is a change in the energy system, which is possible with a greater participation of renewable energies. Promoting their technologies offers a double advantage: energy diversification and the hope of development for poor and isolated communities without the possibility of connection to the electricity net. For this reason the National University of Cordoba are studying small-scale hydraulic machines that can be completely developed and installed in isolated areas of the Province of Córdoba Argentina. In this article, the main characteristics adopted for the development and construction of two microturbines: Michell - Banki and Propeller type, is described. It also describes the simplifications adopted to make them technologically and economically accessible

Palabras clave: microturbinas hélice, cambio climático, microturbina Michell Banki, energías renovables  
Keywords: propeller-type turbines, climate change, Michel Banki turbine, renewable energy

## INTRODUCCIÓN

El llamado a los políticos a ponerse en forma urgente a tono con los desafíos planteados por las tecnologías que modifican el mundo del trabajo y el cambio climático que provoca fuertes pérdidas económicas y sociales fue una de las consignas expresadas en el evento por el medio siglo de vida del Instituto para la Integración de América latina y el Caribe (Intal).

El Cambio Climático es un cambio significativo y duradero de los patrones locales o globales del clima, las causas pueden ser naturales, como por ejemplo, variaciones en la energía que se recibe del Sol, erupciones volcánicas, circulación oceánica, procesos biológicos y otros, o puede ser causada por influencia antrópica (por las actividades humanas), como por ejemplo, a través de la emisión de CO<sub>2</sub> y otros gases que atrapan calor, o alteración del uso de grandes extensiones de suelos que causan, finalmente, un calentamiento global.

El cambio climático y energía son dos caras de la misma moneda: buena parte de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) provienen del sector energético en sus diversas formas (incluyendo transporte). Es por ello que la solución al problema pasa por un cambio fundamental en el sistema energético, que en gran medida solo será posible con una mayor participación de las renovables en el mix de energías (Labandeira *et al.*, 2012).

Las proyecciones regionales, bajo diferentes escenarios, indican que es preciso modificar de manera profunda las formas de producción, distribución y consumo para poder avanzar hacia sistemas económicos que generen menos emisiones de CO<sub>2</sub>. Como se puede inferir, ubicar las economías de la región en el camino de bajas emisiones requiere hacer frente a una difícil transformación en los sectores industriales sobre todo en los que más se consume energía.

Todo esto lleva a reconvertir las economías industriales, anticipar y adaptarse a las necesidades de reestructuración y mejorar nuestra comprensión de las consecuencias del CC en distintos niveles y respecto de distintos actores. Un ejemplo grave puede ser el problema de la escasez y contaminación de agua. En consecuencia, se deberán adoptar buenas prácticas en el ciclo integral del recurso para garantizar el abastecimiento, acudiendo a técnicas no convencionales.

## ENERGÍAS RENOVABLES Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

Para evaluar el papel que pueden jugar las renovables en reducir las emisiones de GEI, hay que analizar cómo cambia el mix energético dentro de los escenarios descritos, partiendo de la situación actual. Así, según datos del informe especial del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2011) sobre fuentes de energías renovables y mitigación del cambio climático (SRREN), en 2008 la energía renovable representó globalmente el 12,9% de la energía primaria. La mayor aportación la realizó la biomasa (10,2%) con un 60% de utilización de biomasa tradicional para calefacción y para cocinar en países en desarrollo, y un menor papel de la energía hidráulica (2,3%).

La Agencia Internacional de Energía (IEA, 2011), define tres escenarios en su Perspectiva Mundial de Energía (World Energy Outlook - WEO). El primero: políticas actuales, modela la situación sin esfuerzos adicionales. El escenario 450 lleva a que se mantengan las concentraciones atmosféricas de GEI en unos niveles que limiten el aumento de la temperatura a los 2 °C. El escenario de políticas nuevas es un escenario intermedio, compuesto a partir de las propuestas de reducción de emisiones presentadas en la reunión de Copenhague de 2009 (y posteriormente recogidos en Cancún) e insuficiente para controlar el aumento de temperaturas al nivel del escenario 450.

El escenario 450 del WEO asume un importante aumento de las energías renovables instaladas: desde 1.489 Mtep en el escenario de nuevas políticas a 2.098 Mtep para el escenario 450 (valores para el año 2035 en ambos casos). La Tabla 1 recoge las características del mix energético en los diferentes escenarios del WEO (IEA, 2011).

Tabla 1: Demanda energética primaria en los escenarios del WEO (IEA, 2011) (Mega toneladas equivalentes de petróleo -Mtep)

	1980	2009	Escenario de Nuevas Políticas		Escenario de Políticas Actuales		Escenario 450	
			2020	2035	2020	2035	2020	2035
<b>Carbón</b>	<b>1792</b>	<b>3294</b>	4083	4101	4416	5419	3716	2316
Petróleo	<b>3097</b>	<b>3987</b>	4384	4645	4482	4992	4182	3671
Gas	<b>1234</b>	<b>2539</b>	3214	3928	6247	4206	3030	3208
Nuclear	<b>186</b>	<b>703</b>	929	1212	908	1054	973	1664
Hidráulica	<b>148</b>	<b>280</b>	377	475	366	442	391	520
Biomasa y Residuos	<b>749</b>	<b>1230</b>	1495	1911	1449	1707	1554	2329
Otras Renovables	<b>12</b>	<b>99</b>	287	690	256	482	339	1161
<b>Total</b>	<b>7219</b>	<b>12.271</b>	14769	16961	15124	18302	14185	14870

Por otro lado, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (intergovernmental panel on climate change) en su Informe Especial sobre Fuentes de Energía Renovable y Mitigación del Cambio Climático (Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation -SRREN) analiza las estimaciones sobre la instalación de renovables en varios escenarios, considerando que en la mayoría de los 164 casos analizados habrá un aumento significativo en el despliegue de la energía renovable en los horizontes de 2030 y 2050. En este caso, más de la mitad de los escenarios asumen que las renovables representarán una producción de más del 17% de la energía primaria total en 2030, incrementándose a más del 27% en 2050. De hecho, los escenarios más optimistas elevan las figuras anteriores a un 43% en 2030 y un 77% en 2050.

Para adaptarse a un aumento tan importante del papel de las renovables, especialmente en el sector eléctrico, los sistemas energéticos deberán evolucionar considerablemente. A largo plazo los esfuerzos de integración podrían incluir la inversión en infraestructuras, modificación de marcos institucionales y planificación y capacidad de previsión del crecimiento de estas fuentes de energía. El desarrollo de los vehículos eléctricos, el aumento de la refrigeración y calefacción eléctrica, la flexibilidad en la demanda (contadores inteligentes), el almacenamiento de la energía, entre otros fenómenos, pueden asociarse a esta tendencia (Labandeira *et al.*, 2012).

## GENERACIÓN ELÉCTRICA EN ZONAS RURALES A TRAVÉS DE MINICENTRALES HIDRÁULICAS

La promoción de las tecnologías de energías renovables ofrece una doble ventaja: diversificación energética y la esperanza de desarrollo para muchas comunidades pobres y aisladas que no están conectadas a las grillas de transporte y distribución eléctrica. El suministro de energía a las comunidades aisladas se concibe como soporte a las actividades productivas, domésticas y comerciales de éstas. En consecuencia, es considerado como un componente estratégico dentro de un marco de trabajo para el desarrollo (Reyna *et al.*, 2012). Las energías renovables tienen importancia porque permiten disminuir la dependencia de los combustibles fósiles en franco agotamiento y por su capacidad de generar una matriz energética más diversa y por ende menos vulnerable.

Entre las energías renovables se pueden mencionar la eólica, geotérmica, hidroeléctrica, mareomotriz, solar y la biomasa. Estos tipos de energías no compiten entre sí; por el contrario se complementan y la elección de una ellas depende del recurso natural disponible en el lugar de emplazamiento de generación con energías verdes. Sin embargo, a pesar de existir en toda América recursos naturales disponibles, aún no representan una parte importante de la matriz energética en la mayoría de los países latinoamericanos. Las principales causas de tal situación recaen en el alto costo de la inversión y la falta experiencia en el desarrollo de cada una de las etapas que éstos requieren. El planteo de máquinas de bajo costo y familiarizar su construcción, operación y mantenimiento para las nuevas generaciones se muestra como prioridad para lograr su incorporación definitiva.

La energía hidroeléctrica es un tipo de energía renovable con un impacto ambiental reducido si se usa la fuerza hídrica sin represarla (en el caso de presas de embalse los impactos ambientales son mayores y deben ser evaluados con precaución). A partir de una visión general en un contexto "macro" sobre la explotación del recurso hídrico para la generación de energía se puede mencionar que no es aprovechado el total del potencial del recurso.

En particular, las ventajas que las micro-hidroeléctricas tiene sobre las mismas las otras renovables de las mismas escalas son (Nasir, 2014):

- Alta eficiencia (70-90%), de lejos la mejor de todas las tecnologías energéticas.
- Factores capacidad altos (> 50%) en comparación con el 10% para la energía solar y el 30% para la energía eólica.
- Baja tasa de cambio; La potencia de salida varía sólo gradualmente de día a día y no de minuto a minuto.

Los sistemas mini-hidráulicos pueden utilizarse en todos los casos en los que haga falta un suministro de energía y esté disponible un curso de agua, aunque sea pequeño, con un salto incluso de pocos metros. En esos casos, la introducción de sistemas de utilización de las aguas tiene un impacto reducido ya que no se modifica el uso mayoritario del curso de agua, que puede ser vital para el suministro de zonas aisladas.

La producción de energía eléctrica puede realizarse aprovechando la energía disponible en un salto hidráulico. Mini-hidráulica es el término con el que la UNDO (Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial) denomina a las centrales hidroeléctricas de potencia inferior a 10 MW. Son instalaciones sencillas, respetuosas con el entorno y útiles para aplicaciones cercanas a la instalación y requieren de pocos componentes: Grupo turbina – generador –y un Sistema regulador.

La energía se convierte y se hace con un grado de eficiencia muy pobre (con muchas pérdidas en calor). Una central eléctrica térmica (carbón o petróleo) tiene una eficiencia aproximada del 30%. Además, las líneas de transmisión y distribución eléctrica pierden cerca del 10%. Las pérdidas de la cadena de transporte y conversión hacen que el uso de energía generada en un lugar y transportada a otro sea muy ineficiente. Lo mejor es generarla en el lugar en que se consume (generar para el consumo propio).

Hace unos años, la utilización de energías renovables era casi exclusiva de ambientalistas y personas que no tenían acceso a otro tipo de energía pero poco a poco se está transformando en una alternativa viable no sólo desde el punto de vista de la sustentabilidad ambiental sino también desde un punto de vista económico.

## **TIPOS DE TURBINA**

Según las características estimadas de salto y caudal y de la potencia que se necesite, es posible, identificar la tipología de la turbina y el tamaño más adecuado. En el caso de micro-sistemas existen modelos que se aplican a las condiciones del lugar o a las posibilidades que existan para su instalación. Las diferencias entre las máquinas vienen vinculadas al mejor aprovechamiento que se le puede dar al potencial energético del agua para generar energía eléctrica. En la Tabla 2 se mencionan generalidades de algunas de ellas a modo de ejemplos ilustrativos.

La generación hidroeléctrica es fundamentalmente transformar la energía potencial, presente en un curso de agua tomando un caudal y un salto de agua, en energía mecánica. Esta energía se transforma en energía eléctrica mediante un generador.

Las micro centrales hidroeléctricas, utilizan este sistema en escala muy pequeña, en general dentro de un rango de potencias de 1 a 100 kW. Se localizan en áreas apartadas y permiten suministrar de energía eléctrica a las poblaciones rurales. Entre las principales ventajas de estos sistemas se pueden mencionar:

- Una alta eficiencia, pudiendo operar con bajos caudales y pequeños saltos
- Confiabilidad, pueden producir un suministro continuo de energía electricidad en comparación con otras alternativas de generación en la misma escala.

- Bajo impacto ambiental, la mayoría de los sistemas son de tipo agua fluyente, es decir que el agua pasa al generador y es devuelto al flujo principal con pequeño impacto en el ambiente local.
- Poca variación en el flujo suministrado, la variación en la energía generada varía gradualmente de día a día, no de minuto a minuto como con otras tecnologías (eólica, solar)

Tabla 2: Resumen de las principales características de los distintos tipos de microtubinas

Resumen de las principales características de los distintos tipos de microtubinas (Reyna <i>et al.</i> , 2012)	
<b>Turbinas de Impulso</b>	
<b>Mini turbinas Pelton</b>	Son turbinas de acción donde uno o más chorros inciden en una rueda que posee en su periferia un gran número de álabes. La turbina Pelton es un tipo de turbina de impulso y es la más eficiente en aplicaciones donde se cuenta con un gran desnivel de agua.
<b>Las turbinas de flujo cruzado (Banki-Michell, u Ossberger)</b>	Para una amplia gama de caudales entre 20 l/s y 10 m <sup>3</sup> /s y alturas entre 1 y 200 metros. El agua entra en la turbina, dirigida por uno o más paletas de guía situada en una pieza de transición aguas arriba. El flujo sale y cruza el centro de la turbina. Su eficiencia es menor que las turbinas convencionales, pero responde a una amplia gama de caudales y de alturas.
<b>Turgo</b>	La turbina Turgo es una turbina de impulso diseñada para saltos de desnivel medio. Fue desarrollada por la compañía Gilkes en 1919 a partir de una modificación de la turbina Pelton. Se recomiendan para sitios con importantes variaciones de flujo de agua y aguas turbias.
<b>Turbinas de Reacción</b>	
<b>Mini turbinas Francis</b>	Son turbinas de reacción válida para centrales de tamaño medio, con potencia aproximada de 100 kW. La ventaja de esta máquina consiste en el aprovechamiento de todo el salto disponible, hasta el canal de desagüe. La construcción es compleja lo que hace problemática la instalación de estas turbinas en las centrales pequeñas.
<b>Kaplan y turbinas de hélice</b>	Son turbinas de reacción de flujo axial. Se emplean en saltos de pequeña altura. Las palas o álabes de la turbina son impulsadas por agua a alta presión liberada por una compuerta. Las turbinas de hélice se caracterizan porque tanto los álabes del rodete como los del distribuidor son fijos. Sólo se utilizan cuando el caudal y el salto son prácticamente constantes.
<b>Bombas utilizadas como Turbinas</b>	El uso de Bombas Centrífugas Standard como turbinas puede ofrecer una alternativa técnica y con ventajas económicas y pueden contribuir a una amplia aplicación en pequeñas centrales hidráulicas. Las bombas con sentido de rotación inverso, están siendo utilizadas como turbinas en aplicaciones industriales, y más recientemente en centrales para sitios aislados.

Según las características estimadas de salto y caudal y de la potencia que se necesite, es posible, identificar la tipología de la turbina y el tamaño más adecuado (Tabla 3). En el caso de micro-sistemas existen modelos que se aplican a las condiciones del lugar o a las posibilidades que existan para su instalación. Las diferencias entre las máquinas vienen vinculadas al mejor aprovechamiento que se le puede dar al potencial energético del agua para generar energía eléctrica.

Tabla 3: Clasificación de las centrales hidroeléctricas según su potencia

Región	Institución	Micro Central	Mini Central	Pequeña Central
<b>Mundial</b>	ONUDI <sup>1</sup>	< 100 kW	101-2000 kW	2000-10000 kW
<b>Latinoamérica</b>	OLADE <sup>2</sup>	< 50 kW	51-500 kW	500-5000 kW

<sup>1</sup> Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial.  
<sup>2</sup> Organización Latinoamericana de Energía.

La elección de un tipo de turbinas dependerá de las características estimadas de salto y caudal de la zona de emplazamiento y de la potencia que se necesite. En la Figura 1 se muestra un diagrama que presenta las regiones recomendables para los diferentes tipos de turbinas hidráulicas en función de estas características físicas de los cursos de agua.

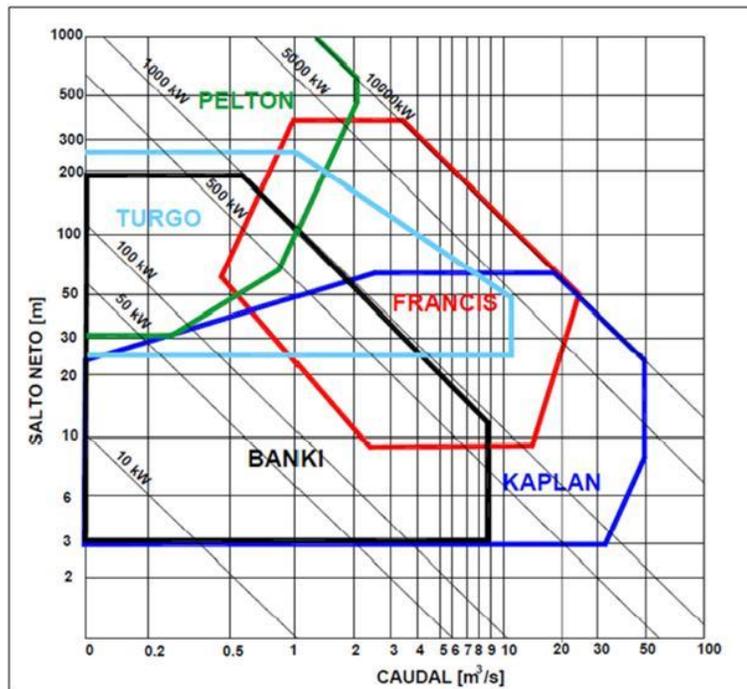


Fig. 1: Rango de aplicación de distintos tipos de turbinas (Fernández Mosconi *et al.*, 2003)

## METODOLOGIA

Para acelerar la aplicación de sistemas alternativos en las zonas rurales, y hacer de esta una práctica habitual, se necesita desarrollar equipos adecuados, adaptarlos para su producción progresiva en las industrias locales, y establecer un sistema de financiación en colaboración con los bancos locales para asistir a los usuarios y propietarios potenciales. Existe una demanda insatisfecha de equipos robustos y confiables que puedan suministrar pequeñas cantidades de energía a bajo costo (Reyna *et al.*, 2016).

Durante el año 2010-2012 se trabajó en el desarrollo de una turbina Michael Banki, la cual se diseñó y se construyó completamente en talleres de Córdoba en escala 1:1. Esta máquina se encuentra actualmente instalada en el Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba, y ha propiciado el interés de numerosos profesionales y alumnos que por primera vez tienen contacto con una micro turbina. El desarrollo del proyecto de la turbina Michael Banki, ha generado un impulso importante en la temática del uso de energías renovables en nuestra Ciudad y, ha fomentado el desarrollo de grupos de investigación local vinculados para mejorar el desarrollo tecnológico de esta área de generación energética.

Durante el período 2014-2015 se trabajó en un segundo proyecto que también contó con financiamiento de Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Córdoba (SECYT), donde se desarrolló la ingeniería de una turbina Kaplan desarrollándose la ingeniería de la máquina. De los proyectos y desarrollos realizados se puede obtener información práctica de su simplicidad, funcionamiento y mantenimiento; permitiendo incorporar las energías renovables dentro de las posibilidades para la solución de problemas de este tipo. De manera particular actualmente se cuenta con egresados del área grado y posgrado que trabajaron durante el desarrollo de ambos proyectos y ahora se incorporan al mercado laboral con información y familiaridad con el tipo de máquinas desarrolladas.

Pero el desarrollo de dos tipos de microturbinas a nivel local sigue limitando su uso a casos específicos. El desarrollo de diferentes máquinas permite ampliar el espectro de oportunidades de aplicación para lo cual es necesario incorporar otros tipos de máquinas. Como siguiente paso hacia la difusión de estas turbinas se está desarrollando una turbina tipo Turgo que permite trabajar en cauces que poseen saltos intermedios pero con bajos caudales, para así poder ofrecer al mercado local una nueva alternativa a las diferentes condiciones de cada localización.

Dentro de este marco, además, se está avanzando en la transferencia de tecnología en el área de las energías renovables. Actualmente se está trabajando con el colegio secundario Instituto Técnico Cristo Obrero de Carlos Paz para la construcción de la turbina Kaplan de manera de incorporar el tema en el nivel educativo medio. Además se está formulando un acta acuerdo de colaboración con dicho colegio para continuar trabajando en forma conjunta.

En lo que sigue, se describen las características de las máquinas desarrolladas y los modelos computacionales aplicados.

### **MICROTURBINA MICHELL - BANKI**

La turbina Michell-Banki es una máquina clasificada como una turbina de acción, entrada radial y flujo transversal. Utilizada principalmente para pequeños aprovechamientos hidroeléctricos, sus ventajas principales están en su sencillo diseño y su fácil construcción, lo que la hace atractiva en el balance económico de un aprovechamiento a pequeña escala (ITDG, 2004). Las principales características de esta máquina son las siguientes:

- La velocidad de giro puede ser seleccionada en un amplio rango
- Puede operar en amplios rangos de caudal y altura sin variar apreciablemente su eficiencia.
- El diámetro de la turbina no depende necesariamente del caudal.
- Se alcanza un aceptable nivel de rendimiento con pequeñas turbinas.
- Se puede regular el caudal y la potencia por medio de un álabe ajustable.
- Su construcción es sencilla, pudiendo ser fabricada en pequeños talleres.

La turbina de flujo transversal es especialmente apropiada para ríos con pequeños caudales, que generalmente llevan durante varios meses muy poca agua.

La energía del agua es transferida al rotor en dos etapas, lo que también da a esta máquina el nombre de turbina de doble efecto, y de las cuales la primera entrega un promedio del 70% de la energía total transferida y la segunda alrededor del 30% restante. Finalmente, el agua es restituida mediante una descarga a presión atmosférica (grado de reacción igual a cero).

#### Descripción de la máquina

La turbina diseñada y fabricada por la Universidad Nacional de Córdoba, considera los siguientes parámetros: un salto efectivo de agua de 25,00 m; caudal a conducir por la obra de aducción 0,120 m<sup>3</sup>/s. Considerando un rendimiento de 60% se obtuvo una potencia útil de 18 Kw. El diámetro interno del rotor: 132,00 mm; la velocidad de giro de la máquina se adoptó en 0,967 y el número de álabes del rotor es de 22 álabes.

La turbina consta de dos elementos principales: un inyector y un rotor. El rotor está compuesto por dos discos paralelos a los cuales van unidos los álabes curvados en forma de arco circular. La construcción del rotor y el inyector de esta máquina no involucraron tareas de fundición de precisión. Un elemento muy importante para el buen funcionamiento, y que en general requiere de mucha precisión en la construcción, son los álabes del rotor. En este caso para facilitar la construcción de los álabes se utilizó una tubería comercial de acero al carbono sin costura, ésta fue cortada formando un arco de circunferencia con ángulo  $\theta$ .

Para la construcción de los distintos elementos de la turbina se emplearon una serie de máquinas herramientas como plegadoras, limadoras, fresadora, torno de control numérico, etc. La totalidad de las piezas que se encuentran en contacto directo con el agua (conjunto rotor inyector), se sometieron a un tratamiento superficial de zincado en caliente para prolongar su vida útil. Tanto el conjunto del rotor como el inyector fueron contruidos en acero SAE 1020. El proyecto verificó que se trata de una turbina con un diseño sencillo y de fácil construcción lo que la hace atractiva a pequeña escala.

La máquina diseñada se estudió con el software Ansys-CFX para el ajuste y desarrollo de las diferentes componentes. El modelo numérico de la turbina Michell-Banki, permitió plantear modificaciones de algunos parámetros relacionados a las dimensiones mostrando un mejor funcionamiento de la misma (Figura 2a).

Si se tienen en cuenta de un lado: la demanda creciente de energía, la necesidad de no deteriorar aún más las condiciones ambientales y la importancia de proveer electricidad a grupos de población que aun ni cuentan con estas; y por otro: se sopesa el potencial hídrico en varias zonas que aún no tienen electricidad, así como el nivel de apropiación alcanzado en el país con relación a la turbina Banki, muchas oportunidades para el empleo de esta máquina se podrían dar en un futuro cercano (Gómez Gómez *et al.*, 2008).

La máquina se encuentra actualmente instalada en el Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (Figura 2b).

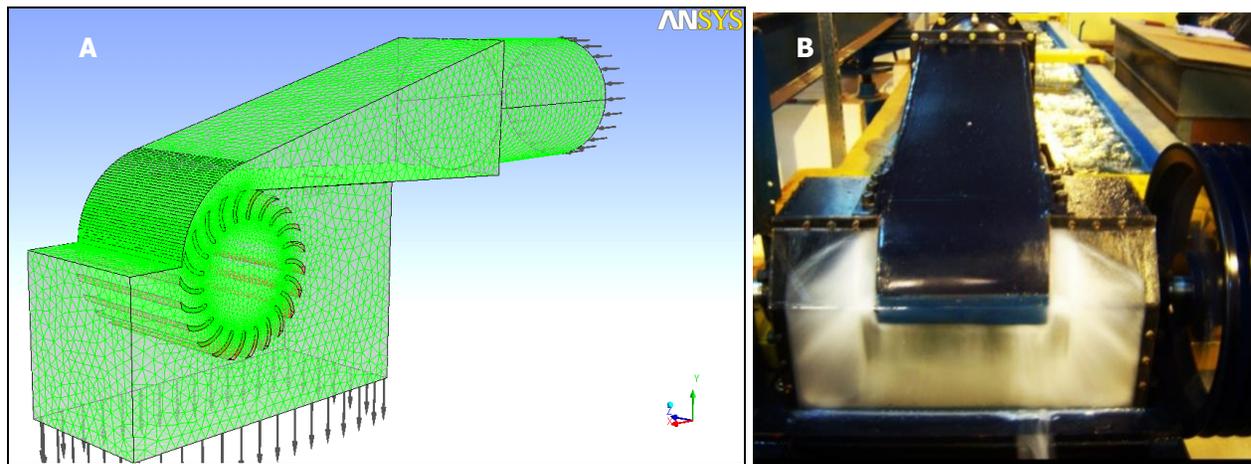


Fig 2: (a) Condiciones de contorno del modelo de la turbina Michell-Banki (Góngora, 2012). (b) Turbina Michael Banki instalada en el laboratorio de la UNC.

## MICRO TURBINA AXIAL

La micro turbina Kaplan es una máquina clasificada como una turbina de reacción, de entrada y flujo axial. Es utilizada principalmente para pequeños aprovechamientos hidroeléctricos y también tiene la ventaja de ser su diseño sencillo, lo que la hace atractiva para un aprovechamiento a pequeña escala. Este tipo de micro turbinas pueden instalarse sobre los pequeños azudes niveladores de zonas rurales. Este tipo de micro turbinas, a diferencia de una turbina Kaplan utilizadas en grandes aprovechamientos hidroeléctricos tiene la particularidad de la ausencia de una cámara espiral periférica y el conjunto de alabes móviles directores del estator que dirigen el flujo hacia el rotor de la máquina, realizando el agua un recorrido radial – axial.

El rodete está compuesto por unas pocas palas, que le confieren forma de hélice de barco; cuando éstas sean fijas, se llama turbina hélice, mientras que si son orientables se denominan turbinas Kaplan; en ambos casos las

turbinas funcionan con un único sentido de giro de rotación; son pues turbinas irreversibles. Sus características principales son:

- Dimensiones reducidas.
- Velocidades relativamente altas.
- Rendimiento elevado con carga variable.
- Notable capacidad para sobrecargas

La máquina desarrollada en la Universidad Nacional de Córdoba, busca que sea capaz de producir como mínimo un megavatio. El caudal considerado es de  $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$  y una altura neta de 5 m. Estos valores considerando un rendimiento de aproximadamente 60%, se obtiene una potencia útil aproximada de 3 kW. En estas máquinas el perfil de los alabes tiene características hidrodinámicas con poca curvatura, que facilita su rendimiento y aumenta la velocidad del fluido, estas características hacen que estas turbinas se construyan de diámetros de rodete bastante pequeños.

Los álabes del rotor tienen un perfil de ala de avión y desarrollo helicoidal. El perfil de ala permite obtener una acción útil del agua sobre el álabe en el movimiento que aquella tiene respecto a éste. La forma helicoidal o alabeo se justifica, en virtud de que la velocidad relativa del flujo varía en dirección y magnitud con el radio, supuesta  $\omega$  (velocidad angular) constante, y considerando la velocidad absoluta constante en magnitud y dirección. Además para los álabes se requiere de un acabado superficial pulido, ya que la rugosidad permitida entre la superficie de contacto y el agua depende del caudal.

La fabricación de los álabes constituye el principal inconveniente para lograr un equipo económico, porque requiere de fundición de precisión. Si sólo se usan álabes de espesor constante, planos o curvados se obtienen menores coeficientes de sustentación y mayores de resistencia, por lo que en conjunto resultaría menor la eficiencia, además de no aprovechar por completo el intercambio de energía por parte del fluido al incidir sobre los álabes. Un ejemplo de eficiencias se tiene en el artículo de Espinoza (1991), donde la turbina axial sin utilizar álabes aerodinámicos obtuvo un valor de eficiencia de 40%, mientras que la turbina axial hecha por ITDG (HIDRORED, 1995) que posee álabes aerodinámicos tiene eficiencia de casi 60%.

Se estudió la alternativa de no utilizar álabes aerodinámicos, entre las que se incluyen la construcción de los mismos a partir de una placa con cortes hasta un diámetro central y luego torsionadas en forma helicoidal. Con este fin se trabajó en el modelo matemático de la turbina utilizando como base el software Solid Works para el desarrollo de las diferentes componentes (Figura 3).

#### Descripción de la máquina en construcción

El cuerpo superior formado por el codo de aducción provisto de brida para la unión con el sistema alimentador. Sobre este mismo codo pisan las cuatro patas del soporte del alternador que irá ubicado en la parte superior. Se ha previsto para tal uso un alternador Monofásico 4 polos, 1500 rpm, modelo E1C13S B/4 7kva, monofásico marca Linz Electric.

El tramo recto intermedio para orientación del flujo de agua en el cual se aloja el distribuidor para el desvío del flujo previo a incidir sobre el rotor de la turbina. En este mismo cuerpo y en forma externa se encuentran placas con las debidas perforaciones sobre las que se fijará la estructura portante de la turbina. Se ha previsto que este cuerpo pueda girarse de a giros de  $60^\circ$  a fin de que los perfiles soporte se alineen con los puntos de apoyo.

La tercera parte se compone de un primer tramo recto en el cual gira el rotor de la turbina e inmediatamente después el cuerpo externo toma la forma de un tronco cono constituyendo el canal de desfogue.

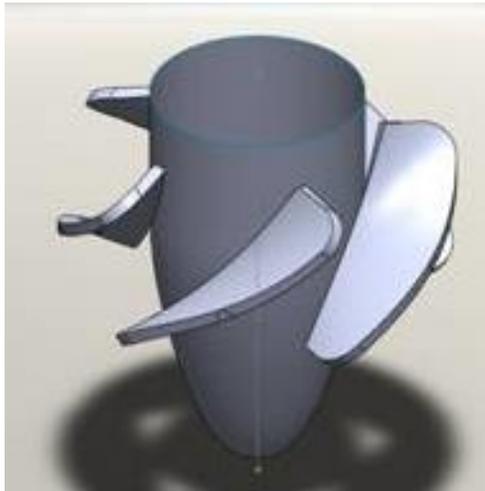


Fig. 3: Modelo del rotor de la turbina Kaplan en Solid Works (Grosso, 2016)

Las tres partes se vinculan mediante unión bridada abulonada. El hecho de que el punto de sustentación externo está en la parte central que es un componente liviano posibilita el montaje inicial cómodo para luego montar sobre una base firme las otras dos partes que son de más peso y volumen.

La máquina aquí proyectada se encuentra en construcción en los talleres del Colegio Técnico Secundario Cristo Obrero de la localidad de Carlos Paz (Provincia de Córdoba). Las tareas son ejecutadas por los propios estudiantes con el asesoramiento de docentes de la Institución y de la Universidad Nacional de Córdoba lo que persigue el objetivo de familiarizar a las nuevas generaciones con este tipo de tecnologías de manera de incorporarlas en su vida profesional y familiar.

## CONCLUSIONES

La finalidad de este trabajo se centró primero en exponer la relación entre medio ambiente, cambio climático y la necesidad de cambiar las matrices energéticas que se encuentran hoy fuertemente vinculadas a los combustibles fósiles que deben cambiar hacia matrices con mayor base en fuentes de energías renovables.

El desarrollo de las energías renovables es la consecuencia previsible de una mirada al tema energético desde la perspectiva de la sustentabilidad.

La promoción de tecnologías de energías renovables ofrece doble ventaja: diversificación energética y la esperanza de desarrollo para comunidades pobres y aisladas que no están conectadas a las grillas de transporte y distribución eléctrica.

Los proyectos que enmarcaron los estudios que se presentan en este trabajo sobre micro hidrogenación buscaban aplicar tecnologías simples de energías limpias hidroeléctricas sin represamiento, de bajo costo que permitieran su construcción e instalación para aplicarlo a diversas comunidades aisladas y que fuese incorporándose en la sociedad a través del vínculo con las nuevas generaciones. El interés es desarrollar la máquina, realizar la construcción y la instalación para permitir el abastecimiento descentralizado de electricidad que permitiera replicarlo en otras comunidades que por sus características no pueden o resulta muy onerosa la vinculación al sistema interconectado nacional y cuya difusión pueda apoyarse tanto desde el sector privado como público.

La ventaja de las micro centrales hidroeléctricas distribuidas sobre el territorio no es tanto la aportación energética que puede darse a la necesidad eléctrica nacional, cuanto el valor de la utilización del recurso hídrico a nivel local teniendo en cuenta que la energía hidroeléctrica es un tipo de energía renovable con impacto ambiental mínimo si se usa la fuerza hídrica sin represarla.

La aplicación de energías renovables hoy no sólo es del campo de los investigadores sino que es reclamado por la sociedad que ve con preocupación cada vez mayor como los recursos se agotan y requieren de alternativas que hagan sostenible el desarrollo de la sociedad, desafío que hoy necesita del encuentro de los distintos sectores de la sociedad.

El vínculo desarrollado con una escuela técnica secundaria permite que los profesionales e investigadores puedan transmitir sus conocimientos a la sociedad y generar desarrollos tecnológicos a niveles locales. Además muestra que el desafío planteado es un camino que merece ser transitado y que la pasión que muestran los estudiantes debe ser un estímulo para continuar.

## AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Córdoba (SECYT) por apoyar el desarrollo de estos proyectos. Al director del colegio secundario Instituto Técnico Cristo Obrero de Carlos Paz por apoyar el desafío de construir máquinas hidráulicas en su colegio y permitir acercar las energías renovables a los niveles de enseñanza media.

## REFERENCIAS

1. Espinoza Silva, J. (1991). *Desarrollo simplificado de turbina axial tipo "S" para micro aprovechamientos hidráulicos*. Proyecto de FONDECYT-90/0123, pp.1- 11.
2. Fernández Mosconi, J., Audisio, O. & Marchegiani A. (2003). *Pequeñas Centrales Hidráulicas*. Apuntes de clase. Universidad Nacional del Comahue. Facultad de Ingeniería. Neuquén, Argentina.
3. Góngora, C. (2012). *Micro Turbinas para pequeños aprovechamientos hidroeléctricos. Turbina Michell-Banki. Tesis de Maestría*. Maestría en Ciencias de la Ingeniería – Mención en Recursos Hídricos. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
4. Grosso, F. (2016). *Energía renovable para comunidades aisladas: desarrollo de una micro turbina axial. Informe de Práctica Supervisada para obtener el título de Ingeniera Civil*. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina. <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/2669>.
5. Gómez Gómez, J.I., Palacio Higueta, E.A. & Paredes Gutiérrez, C.A. (2008). La turbina Mochell-Banki y su presencia en Colombia. *Avances en Recursos Hidráulicos*, 17, 33-42. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia. <http://www.redalyc.org/pdf/1450/145016896004.pdf>
6. HIDRORED, Red latinoamericana de micro energía (1995). *Diseño, construcción y prueba de una turbina de hélice. VI Encuentro latinoamericano en pequeños aprovechamientos hidroenergéticos*. HIDRORED Lima: Tarea gráfica educativa. p.200. <http://www.cricyt.edu.ar/asades/modulos/averma/trabajos/2002/2002-t006-a003.pdf>.
7. IEA-International Energy Agency (2011). World Energy Outlook. [http://www.worldenergyoutlook.org/media/weowebiste/2011/WEO2011\\_Press\\_Launch\\_London.pdf](http://www.worldenergyoutlook.org/media/weowebiste/2011/WEO2011_Press_Launch_London.pdf). Consultado noviembre de 2016.

8. IPCC-Intergovernmental Panel On Climate Change (2011). *Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*. ISBN 978-92-9169-131-9. Sitio web: <http://www.ipcc.ch/report/srren/>
9. ITDG (2004). Soluciones Prácticas. Ficha Técnica N° 2. Turbina Michell Banki. <http://www.solucionespracticas.org.pe/ficha-tecnica-n2-turbina-michell-banki>. Consultado noviembre de 2016.
10. Labandeira, X., Linares, P. & Würzburg, K. (2012). *Energías Renovables y Cambio Climático – Economics for Energy*. WP 06/2012. <file:///C:/Users/Carlos/Downloads/WP06-2012.pdf>. Consultado Noviembre de 2016.
11. Nasir, B.A. (2014). Design Considerations of Micro-hydro-electric Power Plant. *Energy Procedia*. 50, 19-29. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610214007395>.
12. Reyna, T., Reyna, S., Lábaque, M., Riha, C. & Groso, F. (2016). Applications of Small Scale Renewable Energy. *Journal of Business and Economics, USA*. Academic Star Publishing Company. ISSN: 2155-7950.
13. Reyna, T., Reyna, S., Lábaque, M., Riha, C. & Giménez, E. (2012). *Aplicaciones de Usos de Energías Renovables. Microturbinas de Generación Hidroeléctrica*. XXV Congreso Latinoamericano de Hidráulica S.J., Costa Rica. 9 al 12 de septiembre de 2012.