

## **Diseño, Montaje y puesta en funcionamiento de un banco de ensayos de turbinas Mitchell Banki**

Daniel Sanchez Alexis<sup>a</sup>, González Santiago Ezequiel <sup>a</sup>, Meinl Cristian<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Universidad Nacional de Misiones, Facultad de Ingeniería, Oberá, Misiones, Argentina.

e-mails: [alexis.nahir82@gmail.com](mailto:alexis.nahir82@gmail.com), [santiago13102000@gmail.com](mailto:santiago13102000@gmail.com), [cristian.meinl@fio.unam.edu.ar](mailto:cristian.meinl@fio.unam.edu.ar),

---

### **Resumen**

El proyecto se centra en la creación de un banco de pruebas para turbinas hidráulicas Michell Banki en el Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería de Oberá. El objetivo principal es contribuir a la formación de ingenieros electromecánicos, así como al desarrollo de tecnologías de generación hidroeléctrica a pequeña escala. Este banco permitirá el análisis y la evaluación de microturbinas hidráulicas y grupos generadores asíncronos motorizados, optimizando así las aplicaciones en microcentrales hidroeléctricas. Además del diseño y construcción del banco, el proyecto incluye la implementación de un sistema de instrumentación para medir variables eléctricas y mecánicas, facilitando así diversos tipos de ensayos y modos de funcionamiento.

*Palabras Clave:* *Calculo y Diseño, Circuito Hidráulico, Turbinas Hidráulicas.*

### **1. Introducción**

El presente trabajo pretende ser parte integral de la formación del Ingeniero Electromecánico mediante la creación de un banco de pruebas de turbinas hidráulicas que permita el análisis y la evaluación de grupos generadores asíncronos motorizados, contribuyendo por un lado al desarrollo profesional del alumnado involucrado en ésta área y al desarrollo la investigación y optimización de tecnologías de generación hidroeléctrica a pequeña escala.

Las turbinas Michell Banki, también conocidas como turbinas de flujo transversal o cruzado, son dispositivos empleados en microcentrales hidroeléctricas, destacándose por su eficiencia y simplicidad en su diseño y construcción. Estas turbinas son ideales para aplicaciones en zonas rurales o de difícil acceso, donde la generación de energía renovable puede mejorar significativamente la calidad de vida de las comunidades locales.

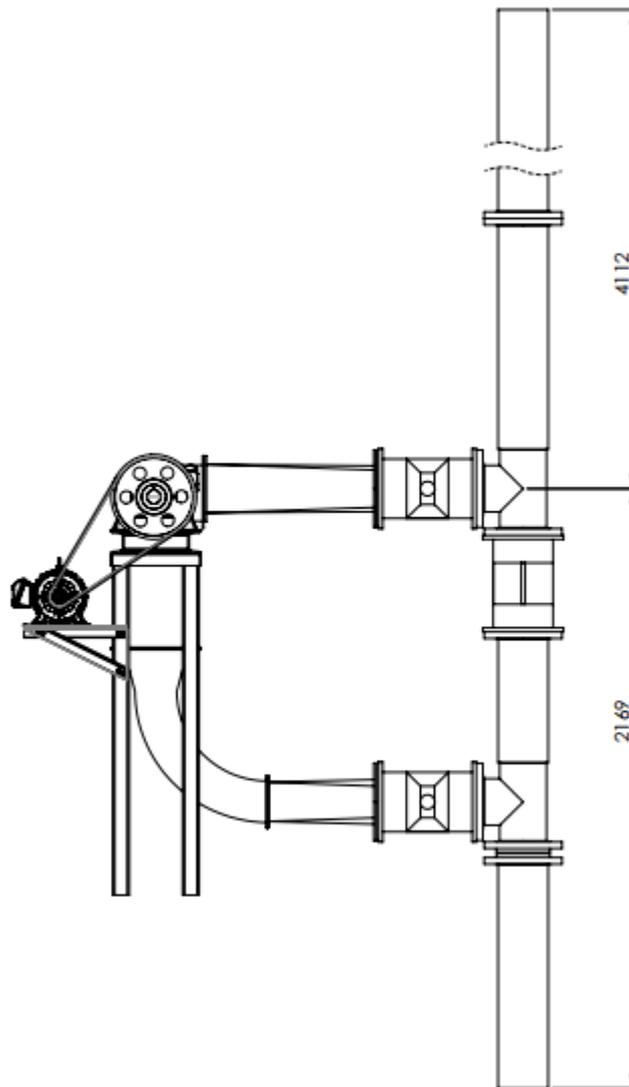
El proyecto no solo busca el diseño y construcción del banco de ensayo, sino también la implementación de un sistema de instrumentación que permita medir variables tanto eléctricas como mecánicas del funcionamiento del sistema y así poder evaluar el funcionamiento para distintos tipos de ensayos y modos de funcionamiento.

### **2. Desarrollo**

La obra civil consta con la conducción para el grupo de generación, esta cuenta de tres válvulas reguladoras de caudal de cierre lento que serán útiles para el montaje y las pruebas hidráulicas seleccionadas en la instalación, así como también el de la regulación de caudal tanto a la entrada como a la salida del mismo.

Es importante notar que el desagüe de la turbina no se hace directamente a la atmósfera como es común en este tipo de turbinas Figura 1. Las turbinas de flujo cruzado se caracterizan por ser máquinas

tanto de acción como de reacción por lo que transfieren a su rodete tanto la energía cinética del fluido como la presión estática del mismo. En la distribución mostrada se tiene alrededor de 1,67m de altura de suspensión, proporcionando una carga adicional al sistema. Que luego en el ensayo de potencia se tratará de verificar cuanto es el aporte del tubo de aspiración. También es interesante dicha disposición en materia de recabar datos y evaluar ensayos que podrán resultar enriquecedores debido a la escasa información disponible al respecto.



**Figura 1-** Esquema de instalación

En base al espacio disponible, materiales, mano de obra y herramientas, se procedió con el diseño de la conducción faltante, soportes estructurales y misceláneos para subsistemas de la instalación.

El proceso de diseño se dividió en 3 fases:

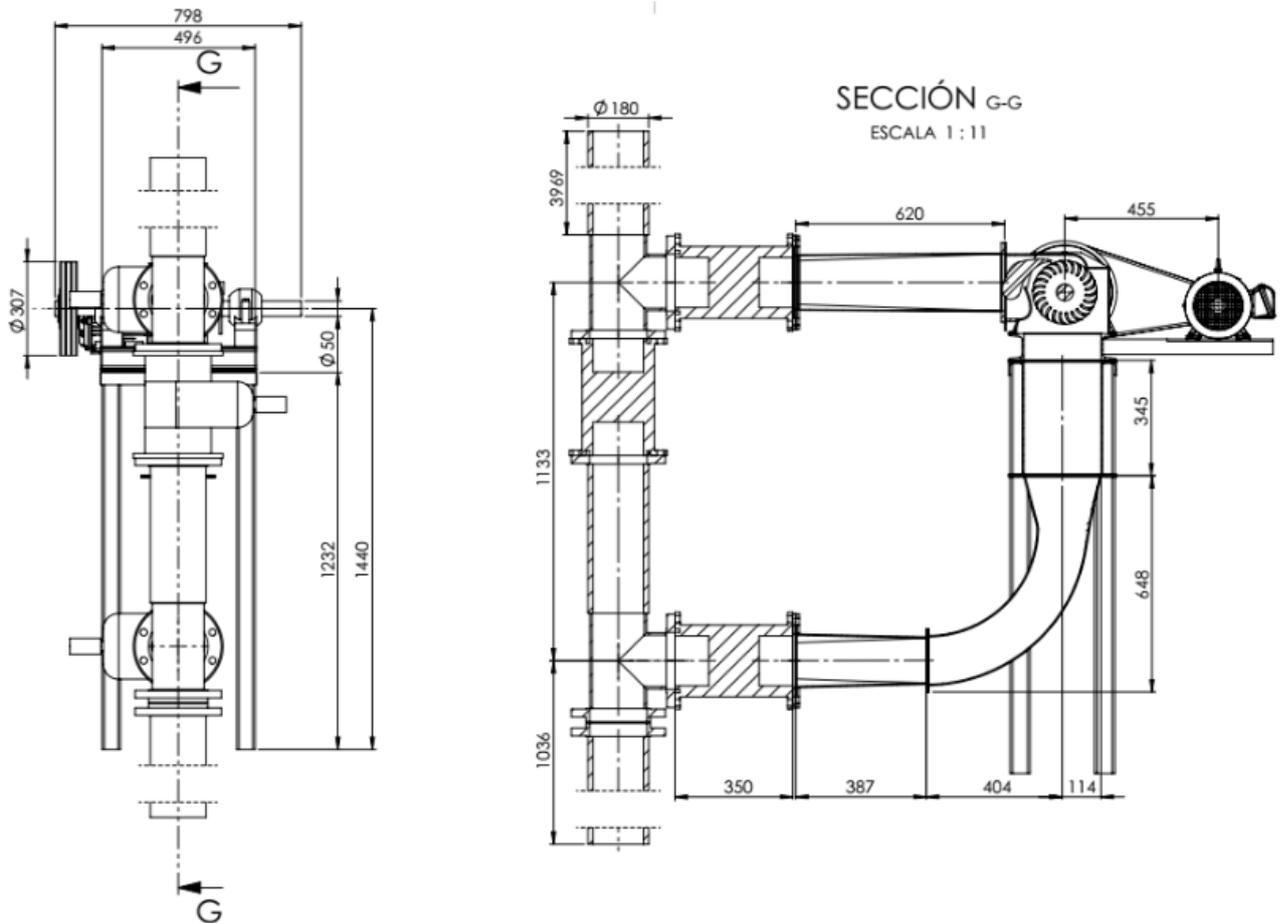
- Conducción
- Reparación, limpieza y adaptación de la turbina
- Soportes estructurales
- Sistema de transmisión
- Sistemas de regulación
- Soporte de la turbina

- Montaje

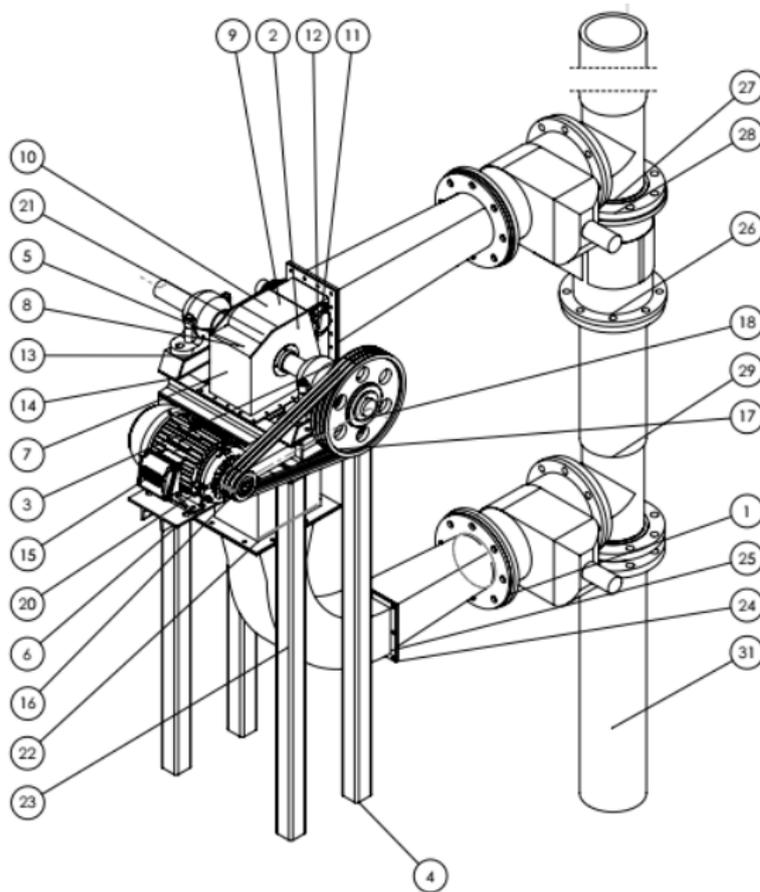
Por otro lado, también se identifican hitos fundamentales a verificarse luego del proceso de montaje, como es la prueba hidráulica del grupo y la conducción que consta en la verificación del correcto diseño y montaje adecuado de todas las partes del sistema de conducción de agua y la turbina junto a sus partes móviles de manera de lograr un conjunto estanco y funcional. Debido a que el sistema será sometido a presión y a variaciones de la misma por lo que debe estar preparado para un funcionamiento seguro y aceptable para los estándares del laboratorio.

Una vez que se haya pasado la prueba hidráulica exitosamente el sistema hidráulico debe pasar la prueba en vacío donde la turbina se pone en funcionamiento sin carga con el objetivo de minimizar las pérdidas mecánicas de las partes móviles, este proceso está ligado íntimamente al correcto montaje de todos los accesorios del sistema y de ser necesario se deberán reajustar piezas debiendo realizarse nuevamente las pruebas hidráulicas.

A continuación, un resumen del diseño propuesto y ejecutado:

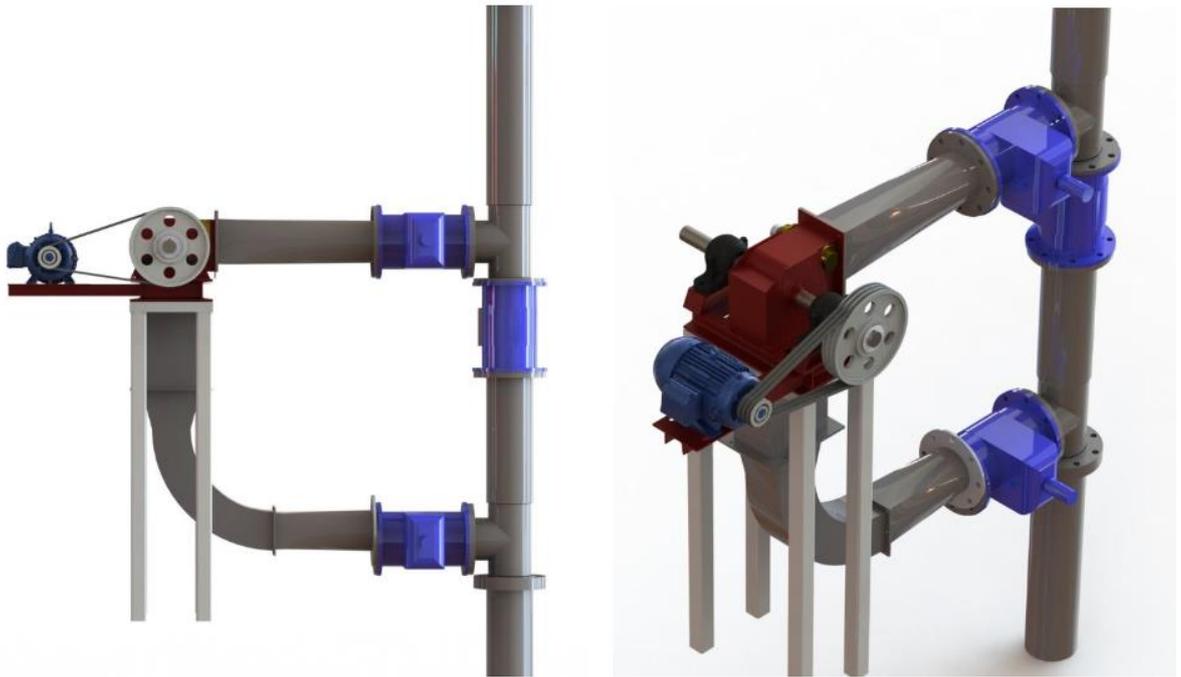


**Figura 2** - Dimensiones generales



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	TMB-BR001		4
2	TMB-BR002		1
3	TMB-BR003		1
4	soporte_turbina		1
5	T_P4		1
6	Carcoza		1
7	tapa_lal_grande		1
8	tapa_lal_pequeña		2
9	TBU		1
10	TBLUT		1
11	Tapa-Eje alabe		1
12	alabe_director		1
13	housing_ebl_512		2
14	soporte_cajaR		2
15	motor_wftp2-324b3lstep		1
16	polea generador		1
17	polea turbina		1
18	Casquillo^Ensamblaje1		1
19	Casquillo^2		1
20	correa^Ensamblaje1		4
21	mango alabe		1
22	1		1
23	2		1
24	3		1
25	4^GENERAL		1
26	Valvula reguladora de caudal		3
27	Tee Inch 6 Sch40		2
28	Slip On Flange 150-NPS6		8
29	Tuberia 1.1		1
30	Tuberia 2.1		1
31	Tuberia 3.1		1
32	Tuberia 4.1		1

Figura 3 - Dimensiones generales



**Figura 4 - Diseño CAD**

### 1.1. *Determinación de la potencia neta disponible*

Dado que la potencia hidráulica se define como:

$$P_h = \gamma * Q * h_n \quad (1)$$

Conociendo las dimensiones de la instalación, se determina  $h = 4,67[m]$ , donde " $h$ " Es la altura medida desde el nivel del agua en la cisterna superior y el eje de la turbina.

, " $Q$ " es el caudal y " $\gamma$ " el peso específico de agua.

Los valores característicos calculados fueron:

- La altura nominal:  $h_n = 4,67[m]$
- El peso específico para el agua a 4 [°C]  $\gamma = 1000 \frac{kg}{m^3}$
- Caudal: Para medir el caudal se procedió a la carga de la cisterna superior a un determinado nivel, luego se procedió a la descarga de la misma midiendo el tiempo. Realizando la relación entre el volumen descargado en ese tiempo se procedió a calcular el caudal aproximado. Las condiciones para dicha prueba fueron las siguientes:

- 1) Un volumen de agua de ensayo de 2880 litros
- 2) Apertura total del álabe y la válvula reguladora de caudal.

El procedimiento consistió en abrir totalmente el álabe director y la válvula de caudal y cronometrar el tiempo hasta una marca indicadora de que el volumen de estudio ha sido escurrido totalmente sea expuesta. Dando como resultado un tiempo de 80 segundos por lo que el caudal de ensayo al vacío con las condiciones mencionadas es:

$$Q_e = \frac{2800 \text{ l}}{80 \text{ s}} = 36 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Por lo tanto, la potencia hidráulica resulta:

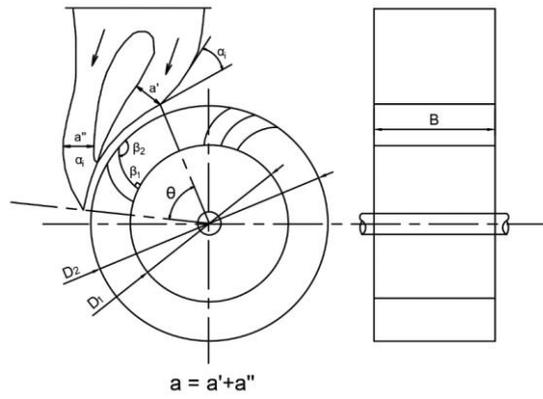
$$P_h = \gamma * Q * h = 9800 \left[ \frac{\text{N}}{\text{m}^3} \right] * 0,036 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] * 4,67 \text{ [m]} = 1647 \text{ [W]}$$

Considerando un rendimiento del 60% y un rendimiento asociado a las pérdidas mecánicas e hidráulicas del 5% por lo que la potencia en el eje sería:

$$P_h = \gamma * Q * h * \eta_G = 9800 \left[ \frac{\text{N}}{\text{m}^3} \right] * 0,036 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] * 4,67 \text{ [m]} * 0,55 = 906 \text{ [W]}$$

El diseño de turbinas generalmente se requiere de la resolución de un problema de varias etapas que no puede ser afrontado totalmente de forma matemática más bien mediante la utilización de modelos. A continuación en la Tabla 1, se muestra el resultado del cálculo de parámetros de funcionamiento y de diseño geométrico de la turbina modelada:

<i>Tabla 1 Resumen de parámetros</i>	
<i>Velocidad del rodete "N" [rpm]</i>	421,4
<i>Caudal máximo "Q" [m<sup>3</sup>/s]</i>	0,036
<i>Altura Nominal "Hn" [m]</i>	4,67
<i>Velocidad del chorro "c" [m/s]</i>	8,85
<i>Diámetro exterior "De" [m]</i>	0,2
<i>Diámetro interior "Di" [m]</i>	0,132
<i>Espesor "B" [m]</i>	0,396
<i>Espesor del chorro "a" [m]</i>	0,06
<i>Arco de admisión "tita" [°]</i>	120
<i>Coeficiente de forma [ka]</i>	0,289
<i>Número de álabes "Z"</i>	23
<i>Ángulo del inyector "alpha" [°]</i>	16
<i>Velocidad específica de caudal "Nq" [rpm]</i>	60,5
<i>Velocidad específica de potencia "Ns" [rpm]</i>	183,2
<i>Velocidad de embalamiento "Ne" [rpm]</i>	758,51
<i>Potencia en el eje de la turbina [kW]</i>	3,775



**Figura 5 - Diseño**

A continuación imágenes del proceso de construcción y ensamblaje del grupo:



**Figura 6 - Etapas iniciales del proyecto**



**Figura 7 - Reacondicionamiento de la turbina**

En las figuras 6 y 7 se pueden observar el punto de partida del corazón del proyecto, la turbina, en base a este proceso se establecieron ciertos lineamientos necesarios para el desarrollo del proyecto



**Figura 8** - Fabricación de la conducción



**Figura 9** - Fabricación de la conducción y pruebas hidráulicas individuales y de montaje iniciales.

**Figura 10** - Fabricación de la conducción Testeada y terminada



De la figura 8 a la 10 se puede ver el proceso de elaboración de la conducción y también pruebas que se le fueron haciendo a las mismas para asegurar una soldadura resistente y hermética y a su vez evitar problemas de montaje en esta etapa se puso a prueba el criterio de diseño de todo el proyecto.



**Figura 11 - Montaje**



**Figura 12 - Montaje y ajuste**

En las figuras 11 y 12 se ve parte del proceso de montaje y ajuste de la turbina, etapa que nuevamente pone a prueba decisiones de diseño. Una vez terminado el proceso de montaje, se realizaron las primeras pruebas de funcionamiento y estanqueidad de la instalación.



**Figura 13 - Diseño real dispuesto en el laboratorio**

Por otro lado, queda verificar a través de la medición con dinamómetro en el eje de la turbina la potencia mecánica real, y determinar si la tubería de aspiración colocada en la turbina genera un aporte adicional de potencia. En la figura 13 se pueden ver los avances logrados hasta la fecha no está demás comentar que la instalación se sometió a las pruebas iniciales de funcionamiento anteriormente descritas las cuales superó exitosamente.

### 3. Trabajos futuros

- Diseño y construcción de los sistemas de regulación de velocidad, regulación angular del álabe director y el control de caudal principal.
- Verificación y realización de ensayos de caudal para las condiciones óptimas de funcionamiento.
- Selección e instalación de sensores e instrumentación.
- Diseño del sistema de control, mando y potencia de los tableros eléctricos.
- Diseño y ejecución de ensayos y protocolos de funcionamiento

### 4. Conclusiones

El diseño del banco de ensayos del Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería representa un avance significativo tanto para la investigación en micro aprovechamientos hidráulicos como para la formación de estudiantes y la comunidad científica.

Este proyecto es viable y promete ser una herramienta valiosa para la formación de ingenieros electromecánicos y el desarrollo de tecnologías hidroeléctricas a pequeña escala. A pesar de algunos desafíos iniciales, como la reducción de potencia observada en las pruebas preliminares, se espera que con ajustes y mejoras futuras como la reparación necesaria a los tanques de agua, la optimización del sistema de regulación y la instalación de sensores, el banco permitirá realizar análisis precisos y contribuir significativamente a la investigación y optimización de microcentrales hidroeléctricas.

### 5. Referencias

- [1] Adam Harvey, Micro-Hidro Design Manual. A guide to small-scale water power schemes.
- [2] José Vásquez, Micro-Hidroeléctrica tipo Michell Banki, Funcionamiento, Mantenimiento y componentes, 2007.
- [3] Julio Egúsquiza, Julio Sánchez, Diseño de un banco de pruebas para turbinas Michell Banki para el laboratorio energía de la Pontificia Universidad Católica del Perú, 2009.
- [4] Federico Coz et. al. Manual de mini y microcentrales hidráulicas. Una guía para el desarrollo de proyectos. 1995
- [5] Barney, Eric, "Aprovechamientos Hidroenergéticos con Microturbinas", Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional de Misiones –UNAM, 1984.
- [6] J. Sen y Ma Puentes – MICROTURBINAS: La alternativa Apropiaada – CREDMHI -Fac. de Ing. – Universidad Nacional de Misiones – UNaM. Marzo 1986.-
- [7] Baranger, D. et al., “Guía metodológica para la implementación de pequeños emprendimientos hidráulicos”, Misiones Argentina: FIO UNAM 1997.
- [8] Régimen de Fomento Nacional para el uso de fuentes renovables de energía destinada a la producción de energía eléctrica, Ley 26.190, Honorable Congreso de la Nación Argentina, Argentina,

2006. [Online]. Disponible en: <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/120000-124999/123565/norma.htm>

]