

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA TURBINA MICHELL BANKI

CAROLINA ZAPATA JIMÉNEZ  
YENN FERNEY BARRERA CANO

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
TECNOLOGÍA ELÉCTRICA  
MEDELLÍN  
2016

PROTOTIPO DE UNA TURBINA MICHELL BANKI

CAROLINA ZAPATA JIMÉNEZ  
YENN FERNEY BARRERA CANO

Trabajo de grado para optar al título de Tecnólogo Eléctrico

Asesor  
Samuel Álvarez Arboleda

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
TECNOLOGÍA ELÉCTRICA  
MEDELLÍN  
2016

## **Agradecimientos**

A la Institución Universitaria Pascual Bravo por la formación integral que nos ha brindado, la cual nos permite formular propuestas de innovación industrial y desarrollo tecnológico.

A los profesores de la institución Universitaria Pascual Bravo que enfocaron con un contexto actual y apropiado sus conocimientos, llenándolos de un gran valor para todos aquellos que trabajamos en la industria y hacemos parte de la implementación de la tecnología.

## Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN .....	8
2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	9
3. JUSTIFICACIÓN .....	10
4. OBJETIVOS.....	11
4.1 General.....	11
4.2 Específicos .....	11
5. MARCO TEÓRICO .....	12
6. DISEÑO PROTOTIPO DE TURBINA MICHELL BANKI .....	16
6.1 Alabe Michell Banki.....	16
7 PRUEBAS Y RESULTADOS .....	23
7.1 Prueba de Velocidad vs Caudal.....	23
7.2 Prueba de Frecuencia vs Velocidad.....	24
7.3 Prueba de Altura vs Caudal .....	25
7.4 Prueba de Potencia vs Caudal.....	26
7.5 Prueba de Potencia Hidráulica vs Velocidad.....	27
7.6 Elementos de Medición.....	28
8 CONCLUSIONES .....	30
9 RECOMENDACIONES .....	31
10 BIBLIOGRAFÍA .....	32

## Lista de Figuras

FIGURA 1 Esquema del corte longitudinal de una turbine Michell - Banki .....	13
FIGURA 2 Tipos de entrada del agua.....	14
FIGURA 3 Turbinas Michell - Banki instaladas en Colombia .....	15
FIGURA 4 Plano Alabe .....	16
FIGURA 5 Alabe Real en Acrílico .....	17
FIGURA 6 Plano Rodete y Distribución de los Alabes .....	18
FIGURA 7 Rodete y Alabes Prototipo Real .....	19
FIGURA 8 Proceso de Fabricación Carcasa .....	20
FIGURA 9 Grado de Inclinación del alabe en el prototipo de la turbine Michell Banki .....	20
FIGURA 10 Ensamble del eje a la turbine Michell Banki.....	21
FIGURA 11 Ensamble en el banco de prueba, polea y generador .....	22
FIGURA 12 Prueba de Funcionamiento de la Turbina Michell Banki .....	22
FIGURA 13 Velocidad de Rotación sin carga vs Caudal.....	23
FIGURA 14 Frecuencia vs Velocidad de rotación .....	24
FIGURA 15 Curva de caudal vs altura de la caída de agua.....	25
FIGURA 16 Grafica de Potencia vs Caudal.....	26
FIGURA 17 Grafica de potencia hidráulica vs Velocidad .....	27
FIGURA 18 Medición del voltaje con la turbina Michell Banki en funcionamiento.....	28
FIGURA 19 Medición de las revoluciones con el tacómetro .....	28
FIGURA 20 Manómetro de Caratula en funcionamiento al momento de las pruebas.....	29
FIGURA 21 Medidor Doppler para medición de caudales en tuberías.....	29

## INTRODUCCIÓN

Una turbina Michell-Banki es una máquina hidráulica que se usa para generación hidroeléctrica a través de un flujo transversal de agua. Este tipo de máquina presenta un diseño sencillo y de fácil construcción, lo cual es favorable para aprovechamientos a pequeña escala. Aunque este tipo de turbina es conocido por ser pequeña, hoy en día existen instalaciones de turbinas Michell-Banki de hasta 6 MW.

Dentro de las características más destacadas se encuentra la velocidad de giro, la cual puede ser variada en un amplio rango. El diámetro del rodete no depende estrictamente del caudal ya que se alcanza un aceptable nivel de rendimiento con pequeños caudales. Se puede regular el caudal y la potencia por medio de un álabe ajustable.

La turbina consta de dos elementos principales: un inyector (alabe de directriz) y un rotor. El rotor está compuesto por dos discos paralelos a los cuales van unidos los álabes curvados en forma de sector circular.

Durante el proyecto se construyó un prototipo de turbina Michell - Banki y se usó un alternador eléctrico para la caracterización de distintos tipos de variables para medir su desempeño.

## **DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

A pesar que el cubrimiento por parte de las empresas que suministran energía es amplio, aún hay locaciones o lugares remotos en los cuales no hay conexión a la red eléctrica nacional.

Sin embargo, en estos lugares hay recursos naturales propios como quebradas, riachuelo o ríos de los cuales se puede aprovechar el flujo de agua para la generación y suministro de energía eléctrica.

Buscando oportunidades de explotar los recursos naturales de una manera ecológica en el presente proyecto se pretende hacer un aporte para poder obtener un sistema prototipo de generación eléctrica acoplando un alternador eléctrico a la turbina Michell Banki, además realizar reformas para obtener en un futuro, un producto de fácil ensamblaje y manufactura, que pueda ser asequible para personas que vivan en zonas rurales.

## **JUSTIFICACIÓN**

Las turbinas Michell-Banki son una solución viable para surtir un servicio básico de energía eléctrica, este proyecto tiene una gran importancia en cuanto al impacto ecológico, económico y práctico. Equipos como este para el aprovechamiento de la energía hidráulica tienen alta aplicabilidad para la generación energía en las zonas rurales donde haya disponibilidad del recurso hídrico y ayudando a la autosuficiencia energética.

El desarrollo del proyecto es valioso y pertinente. El cumplimiento de los requisitos y la valoración experimental del desempeño del sistema de generación es un aporte en el camino para llevar ésta tecnología a otro nivel, donde se pueda brindar soluciones confiables a la población rural y a la vez poder contribuir en el avance de las energías alternativas.

# OBJETIVOS

## ***General***

Diseño y construcción de una turbina Michell Banki.

## ***Específicos***

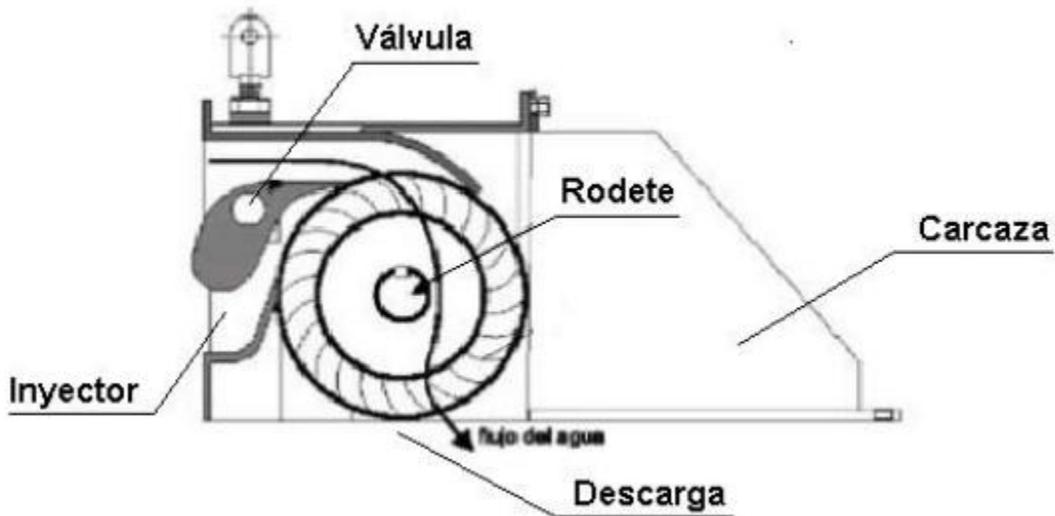
- Revisión bibliográfica sobre una turbina Michell - Banki
- Construir una turbina Michell Banki
- Realizar pruebas preliminares con el prototipo construido.

## MARCO TEÓRICO

A G. Michell, ingeniero australiano fue el creador. Posteriormente esta turbina fue comercializada en forma extensa por la empresa alemana Ossberger Turbinen Fabrik que se asoció a Michell en el año de 1923. En los últimos 65 años esta empresa fue responsable por la venta de más de 7.000 unidades en todo el mundo.

Debido a los pronósticos del fin de las reservas petroleras en el mundo, la contaminación producida por la generación de las energías más utilizadas y, en consecuencia, la necesidad de cuidado, reparación y conservación del medio ambiente, en la última década se ha venido impulsando la investigación, estudio y desarrollo de propuestas tecnológicas para la obtención de nuevas y mejores formas de generación energética. (Gomez, 2006) Estas propuestas, a menudo denominadas energías alternativas, buscan complementar los sistemas tradicionales y dar paso a la llamada generación distribuida y sustituir fuentes contaminantes o poco eficientes. Dichas propuesta deben garantizar, que en un futuro cercano, se cuente con soluciones energéticas sencillas, que perduren en el tiempo, con un mínimo impacto ambiental, bajos costos y en cantidades que satisfagan la creciente demanda energética que se genera con el desarrollo económico e industrial (Sierra Vargas, Sierra Alarcon, & Guerrero Fajardo, 2011)

La turbina Michell – Banki, también conocida por los nombres de Turbina de flujo Cruzado, turbina de Flujo Transversal o Turbina Banki, es una maquina hidráulica utilizada en el aprovechamientos hidroeléctricos de hasta 2000 Kw Lo que la hace atractiva frente a otras turbinas clásicas es la sencillez de su construcción y, para cierto rangos de caída y caudal, su costo significativamente menor; la principal desventaja comparativa frente aquellas es su rendimiento bajo. En la Figura 1 se pueden apreciar los componentes principales, esta turbina consta de inyector, válvula, rodete y descarga como elementos principales, además posee una carcasa que en muchos diseños cumple la doble función de chasis y de cubierta; esta última con el fin de evitar el salpique de agua e impedir el ingreso de elementos extraños al rotor. (Gomez Gomez, Palacio Higuita, & Paredes Gutierrez, 2008)



**FIGURA 1** Corte longitudinal de una turbine Michell - Banki

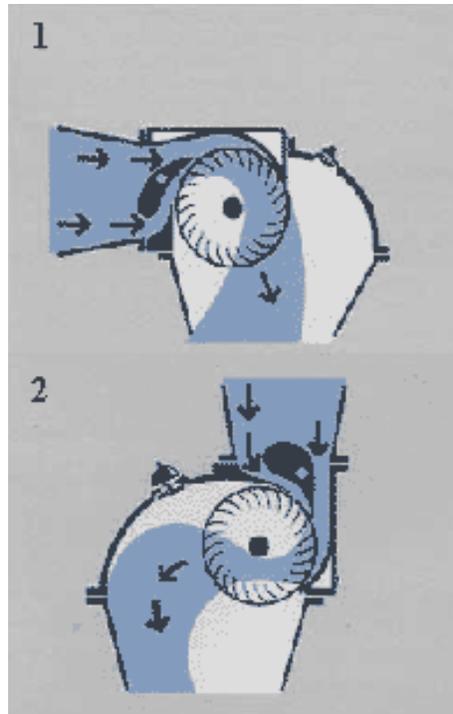
El funcionamiento de la turbina es sencillo. El agua entra a través de una tubería que la canaliza hasta llegar al alabe directriz fijo, o distribuidor, regulando la cantidad de fluido que penetra en el interior, según las revoluciones del eje, habilitando una entrada mayor o menor. El alabe directriz se encarga, además, de direccionar el flujo para que el agua golpee contra los alabes propiciado así el giro del rodete. El rodete consta de dos o más discos paralelos, entre los que se montan, cerca del borde, unas láminas curvadas que son los álabes. La construcción del rodete con secciones de tubería comercial es factible, aunque es difícil garantizar la estabilidad dimensional

Un aspecto muy atractivo derivado de la constitución de la máquina y su forma de funcionamiento consiste en que el follaje, hierbas, lodos, entre otros; que durante la entrada del agua se quedan entre los álabes, vuelven a ser expulsados después de medio giro del rodete con el agua de salida por el efecto de la fuerza centrífuga.

De este modo el rodete tiene un funcionamiento poco sensible a elementos no deseados, que es una de las ventajas que posee respecto a otras turbinas. Los rodamientos de las turbinas son de tipo rodillo. Es importante que al diseñar la carcasa se tenga muy en cuenta el aspecto de hermeticidad en los rodamientos respecto al paso del agua. Por ello la carcasa está preparada con alojamientos y un sistema de prensaestopas que evita las fugas de forma eficiente. Excepto el engrase, los cojinetes no requieren ningún trabajo de conservación.

El elemento principal, el rodete, consta de un par (o más) discos en los que se adhieren los álabes, que son de curvatura lineal. Tanto el rodete como el ingreso de agua se pueden fabricar con láminas de acero requiriendo herramientas y técnicas de armado simples, por lo que su construcción se puede realizar en talleres de mecánica básica.

La forma de instalación puede adoptar dos disposiciones: Entrada horizontal de agua o entrada vertical del agua. (<http://www.cec.uchile.cl/>)



**FIGURA 2 Tipos de entrada del agua (tomado de <http://www.cec.uchile.cl/>)**

La turbina de flujo transversal o Michell-Banki es una máquina 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. No obstante esto no impide que la turbina se utilice en grandes instalaciones. Aunque la turbina de flujo transversal se conoce como una máquina de pequeña escala, existen actualmente máquinas de este tipo de hasta 6 MW.

En Colombia, la turbina hidráulica Michell-Banki ha sido utilizada en pocas ocasiones mini centrales hidroeléctricas, lo que permite afirmar que es poco conocida. Se estima que dicha turbina puede jugar un papel decisivo en proyectos hidroeléctricos pequeños, dado su menor impacto ambiental. Esta tecnología se implementó en Colombia en 1958 con una turbina fabricada por Ossberger y con una potencia de 15.3 Kw Se han encontrado algunos proyectos de mini, micro y

pico centrales que utilizan la turbina Michell Banki en el país ver Figura 3 (Gomez Gomez, Palacio Higueta, & Paredes Gutierrez, 2008)

Central	Localización	# / Marca	kW	Año
Parroquia Palermo	Palermo, Boyacá	1 Ossberger <sup>a</sup>	15.3	1958
Inza	Inza, Cauca	1 Ossberger <sup>a</sup>	58.9	1963
Plantación Mirapalm	Tumaco, Nariño	1 Ossberger <sup>a</sup>	40.6	1973
Paucedonia	Sierra Nevada, Magdalena	1 Colturbinas <sup>b</sup>	16	1989
Siervo Arias	Sierra Nevada, Magdalena	1 Colturbinas <sup>b</sup>	13	1989
Machosolo	Sierra Nevada, Magdalena	1 Colturbinas <sup>b</sup>	14	1991
La Tagua	La Tagua, Magdalena	1 Colturbinas <sup>c</sup>	10	1991
Caracolí	Caracolí, Guajira	1 Colturbinas <sup>b</sup>	60	1994
López de Micay	López de Micay, Cauca	2 Italianas <sup>d</sup>	300	1995
López de Micay	López de Micay, Cauca	2 Colturbinas <sup>c</sup>	300	1995
La Reforma - Emcali	Cali, Valle	1 Ossberger <sup>e</sup>	169	1996
Alcaldía de San Juan	Caracolí, Guajira	1 Colturbinas <sup>c</sup>	30	2000
Guacamayas	San Vicente del Caguán, Caquetá	1 Alfa I. M. <sup>f</sup>	5	2002
La Uribe	La Uribe, Meta	1 Alfa I.M. <sup>f</sup>	3	2003
Bahía Cupica	Bahía Cupica, Chocó	1 Colturbinas <sup>c</sup>	327	2004
Hacienda Pajonales S.A.	Departamento del Tolima	1 Aprotect <sup>g</sup>	20	Sin dato
Termales de Santa Rosa	Santa Rosa, Risaralda	1 Aprotect <sup>g</sup>	50	2005
Puerto Amor	San Vicente del Caguán, Caquetá	1 Alfa I.M. <sup>f</sup>	3	2005
Vereda Las Juntas	Litoral Pacifico Vallecaucano	1 Aprotect <sup>g</sup>	30	Sin dato
Refugio del Cisne	Parque Natural de los Nevados	1 Aprotect <sup>g</sup>	7.5	Sin dato
El Molino	Resguardo Indígena Paez de Lame	1 Aprotect <sup>g</sup>	10	2000
San Francisco	Resguardo Indígena Paez de San José	1 Aprotect <sup>g</sup>	25	2005

*a (Ossberger, Sin fecha); b (Núñez, 1993); c (Colturbinas, 2007); d (Silva, 2008); e (Slogsnat et al., 1996);*

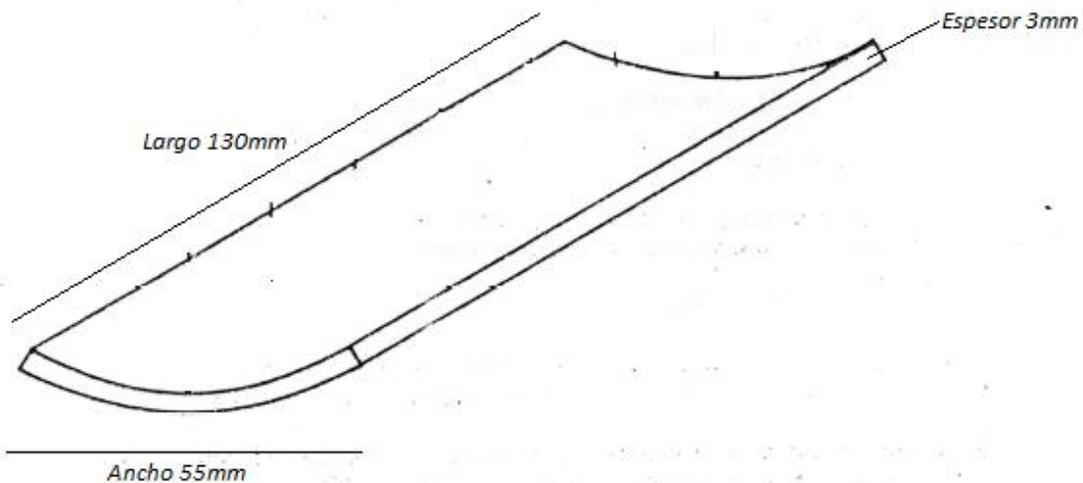
### FIGURA 3 Turbinas Michell - Banki instaladas en Colombia

La generación hidroeléctrica es actualmente la más explotada. El sector energético colombiano no se diferencia en gran medida del mercado mundial, tal y como se evidencia en la forma y estructura actual del mismo, a pesar de las particularidades de la estructura geopolítica del país, así como también de la evolución histórica del sector. A finales del siglo XIX y principios del siglo XX, la relativa prosperidad económica presente en la sociedad colombiana, induce la aparición de los primeros proyectos de electrificación a nivel nacional, desarrollados con capitales privados que se pudieron recuperar fácilmente dadas las pequeñas escalas de los proyectos de generación y distribución, derivadas de la cercanía a los centros de consumo y de la naturaleza hidráulica de las centrales de generación empleadas (Mantilla Gonzales, Duque Daza, & Galeano Urueña, 2008)

# DISEÑO PROTOTIPO DE TURBINA MICHELL BANKI

## *Alabe Michell Banki*

Para el diseño del álabe nos basamos en el libro Manual de diseño estandarización y fabricación de equipos para pequeñas centrales hidroeléctricas<sup>1</sup>. (Ver figura 4). Con Base a este texto se tomaron cada una de las medidas de la cuchara, cazoleta o álabe. Teniendo las medidas se procedió a la fabricación de la pieza con base en los planos. (Hernandez, 2000)



**FIGURA 4 Plano Alabe (GOMEZ, 2010)**

Este modelo fue elaborado en acrílico blanco con un espesor de 3 mm ya que este fácil de trabajar y nos permite obtener mejores acabados, además este material es más económico, no tiene oxidación ni corrosión.

El corte se realizo en laser para garantizar su precisión y se fabrica un molde (lo realiza la empresa Corte Laser) para conseguir la forma curva y que todas las piezas queden exactamente iguales.

<sup>1</sup> (Hernandez, 2000) paginas 32 a la 34



**FIGURA 5 Alabe Real en Acrílico**

Otra de las razones por las cuales se optó por el acrílico es su ligereza

Otro factor a la hora de la elección del material fue su resistencia, ya que soporta de manera fácil y eficaz la permanente fuerza o golpe del chorro sobre el álabe sin causar ningún tipo de daño sobre este.

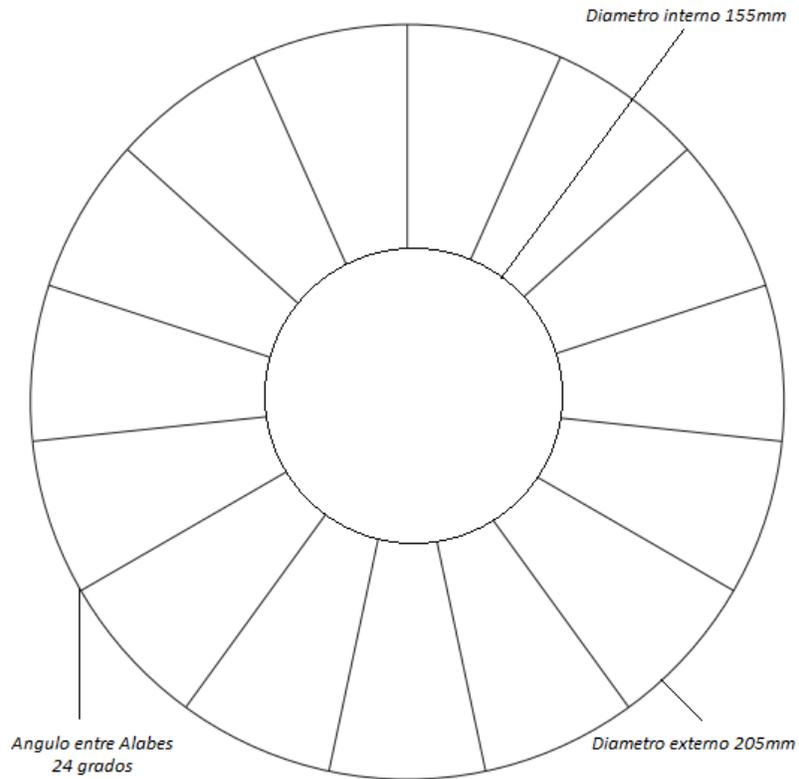
### ***Rodete Michell Banki***

Para el diseño del álabe nos basamos en el libro Manual de diseño estandarización y fabricación de equipos para pequeñas centrales hidroeléctricas<sup>2</sup>.

Con base en este texto se calcularon cada una de las medidas de los diámetros (Ver Figura 6) para posteriormente realizar la pieza isométrica del rodete y generar los planos. En el diseño con los planos se procedió a fabricar el rodete en el taller de corte laser.

---

<sup>2</sup> (Hernandez, 2000)



**FIGURA 6 Plano Rodete y Distribución de los Alabes (Vergara, 2007)**

El material con el que se elaboró el rodete es Acrílico, ya que al igual que los álabes, este estará en permanente contacto con el agua.

A la hora del diseño del rodete se tuvo en cuenta que en él irían ensamblados los álabes; se pensaron dos formas diferentes, la primera que los álabes irían soldados al rodete, lo que se garantizaría mayor rigidez, y la segunda opción y como se construyó era la unión de los álabes al rodete a través de tonillos. El principal motivo por el que se descartó el ensamble a través de tornillos era difícil manejo y fugaz por el tipo de material.



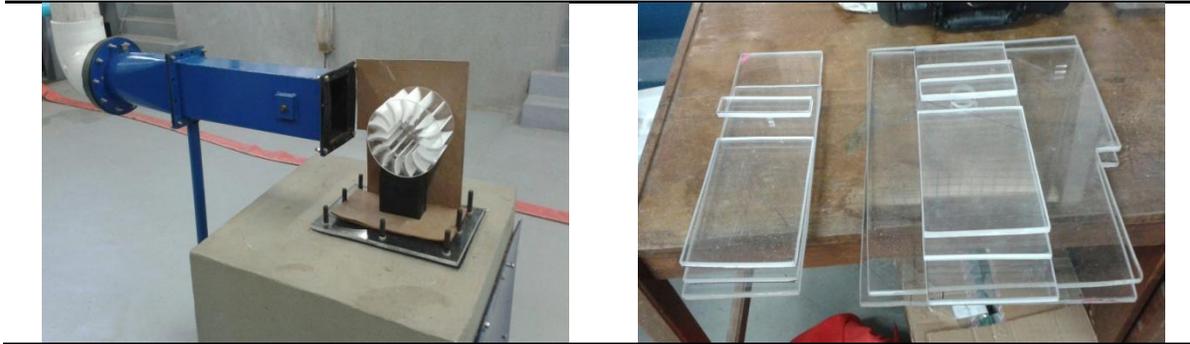
**FIGURA 7 Rodete y Alabes Prototipo Real**

Se procede a ensamblar con soldadura acrílica para obtener la rigidez necesaria y minimizar a cero las posibles filtraciones.

### ***Carcasa***

Se tomo como modelo la carcasa de la turbina del laboratorio de hidráulica de la Universidad Nacional y se cortaron las tapas que la conforman, esto con el fin de facilitar el ensamble de nuestra turbina al banco de pruebas. (Gomez Gomez J. , 2009)

De acuerdo a las dimensiones de ésta se verificó que el núcleo que conforma nuestra turbina es decir eje, álabes, rodete, inyectores, encajara en la carcasa.



**FIGURA 8 Proceso de Fabricación Carcasa**

El material de fabricación fue el Acrílico de 5 mm de espesor ya que la carcasa estará al igual que el rodete y las cucharas ex puesta al permanente contacto con el agua. (Benavides Moran, 2009)

### ***Alabe Directriz***

Se realizo el diseño del alabe con un grado de inclinación 30 grados que permitiera una mayor eficiencia, ya que estas turbinas poseen un alabe variable. Por el material que se eligió para la turbina y la carcasa se dejo fijo el ángulo y así realizar las pruebas con este valor fijo y no variable.

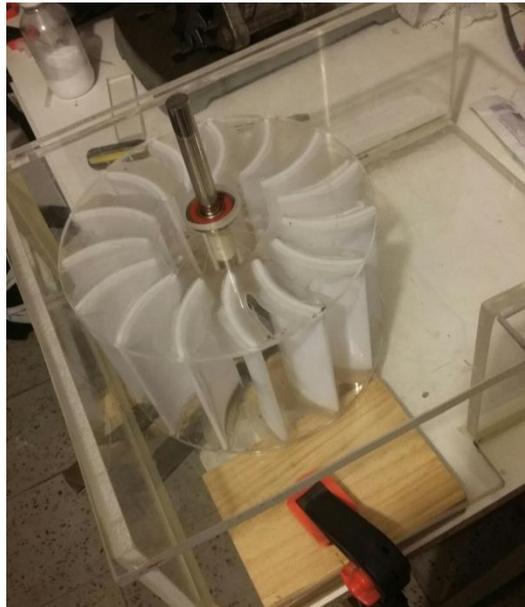


**FIGURA 9 Grado de Inclinación del alabe en el prototipo de la turbine Michell Banki**

## ***Eje***

La selección del eje de la turbina se realiza considerando que la turbina transmitirá su potencia al alternador por intermedio de un acoplamiento o un sistema de transmisión por bandas y poleas. Se optó por comprar el eje y unas balineros para permitir que el sistema gire sin mucho esfuerzo y así lograr una mejor generación.

De acuerdo al diámetro del eje se adecua la polea que le transmite al generador, esto por facilidad de ensamble.



**FIGURA 10** Ensamble del eje a la turbine **Michell Banki**

## ***Ensamble de la turbina con el banco de prueba***

Teniendo la turbina armada se procedió a ensamblarla en el laboratorio de hidráulica de La universidad Nacional, de la siguiente manera:

1. Se ensambló la turbina al banco de pruebas del laboratorio, además se incorporó en el banco la turbina y el alternador.
2. Una vez montada la turbina al banco de pruebas se procedió a conectar la tubería con la parte hidráulica del sistema.
3. Se acopló al eje de la turbina a la polea encargada de transmitir la potencia al alternador.

4. Se sello la turbina con tornillos y Neolite para evitar que se produjeran fugas del fluido, y de esta forma obtener mejores resultados de operación de la Turbina Michell Banki.

5. Se realizaron puestas en marcha para verificar el correcto funcionamiento de la turbina



**FIGURA 11** Ensamble en el banco de prueba, polea y generador

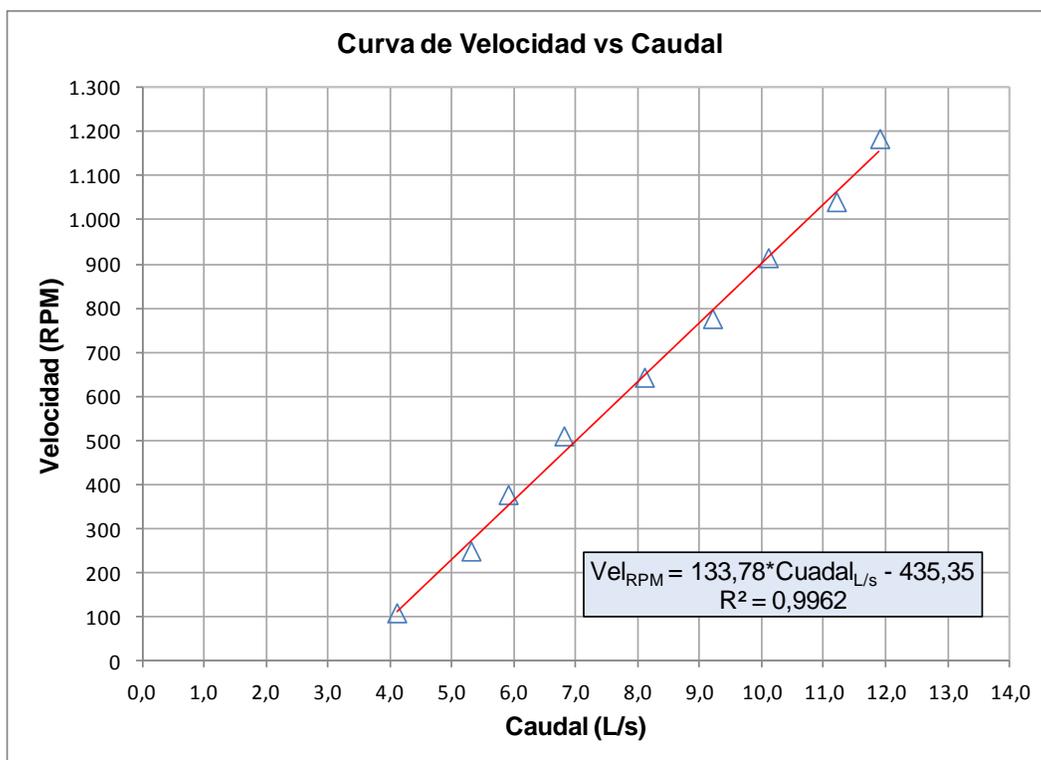


**FIGURA 12** Prueba de Funcionamiento de la Turbina Michell Banki

## PRUEBAS Y RESULTADOS

### *Prueba de Velocidad vs Caudal*

En la Figura 13, se presenta el comportamiento de la velocidad de rotación de la turbina sin carga con respecto al caudal. Se puede observar un comportamiento lineal. Para el caudal de diseño de la turbina que es 12 L/s la velocidad de rotación sin carga es cercana a 1150 RPM. Se observa que la turbina necesita un caudal mínimo para comenzar su movimiento.



**FIGURA 13 Velocidad de Rotación sin carga vs Caudal**

La Figura 13 muestra un comportamiento lineal ya que al disminuir la cabeza hidráulica disminuye el caudal.

## Prueba de Frecuencia vs Velocidad

En la Figura 14 se puede apreciar la relación directamente proporcional entre la frecuencia y la velocidad de rotación del rotor.

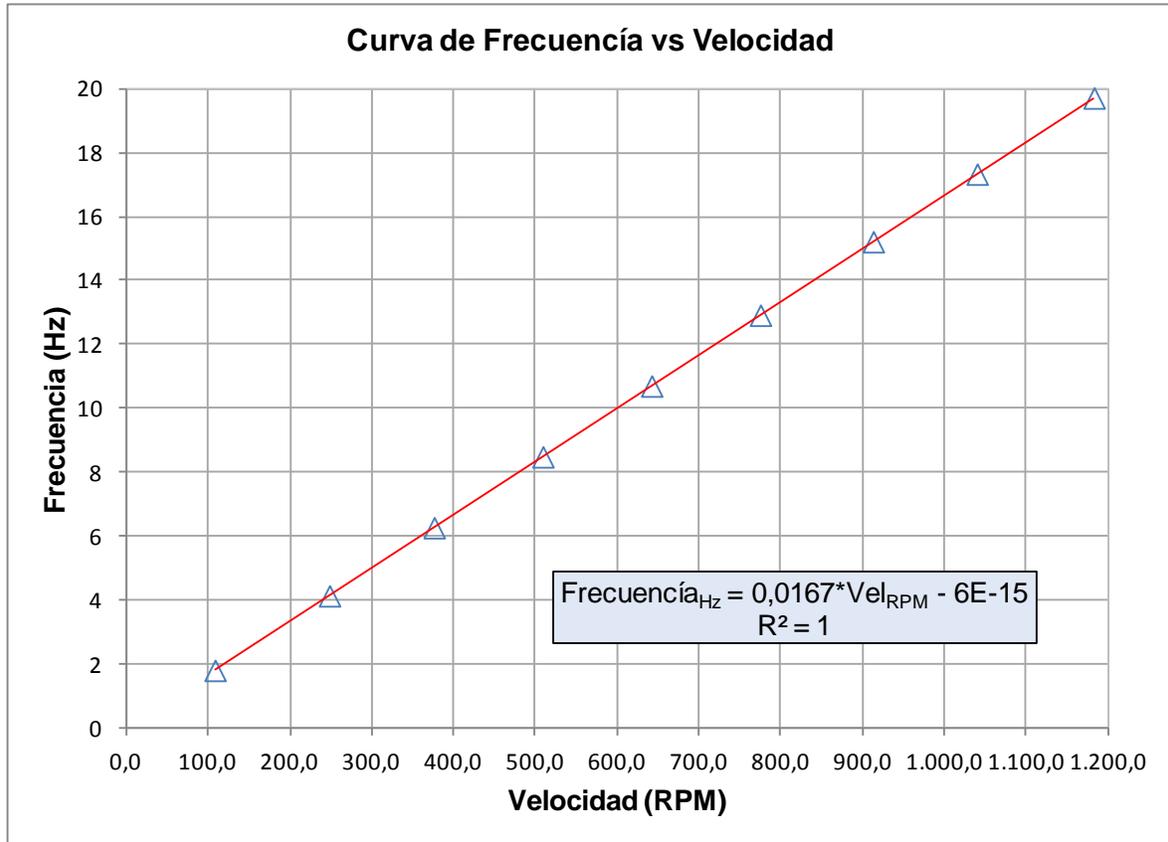


FIGURA 14 Frecuencia vs Velocidad de rotación

## Prueba de Altura vs Caudal

En la figura 15 se aprecia la tendencia lineal del caudal en función de la altura. Extrapolando se puede obtener el punto de intersección de la línea con eje Y, el indica el punto mínimo de operación de la turbina.

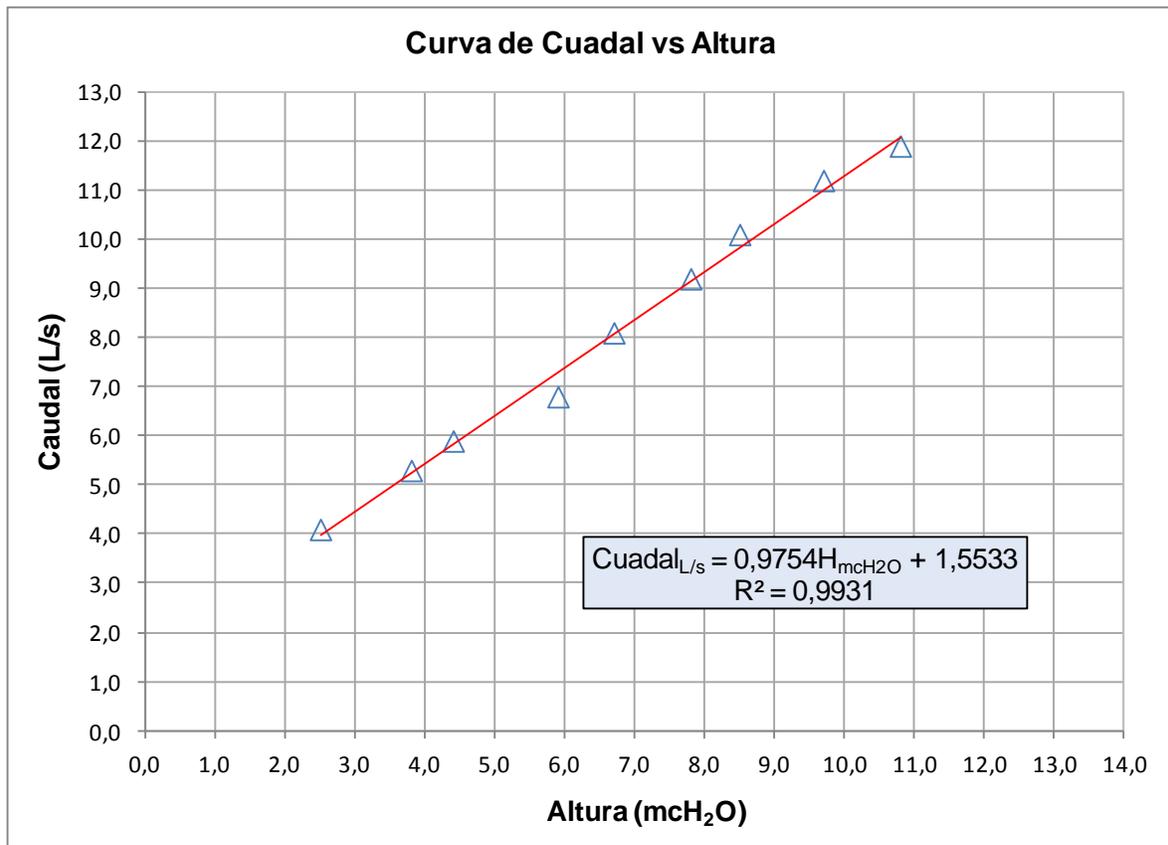
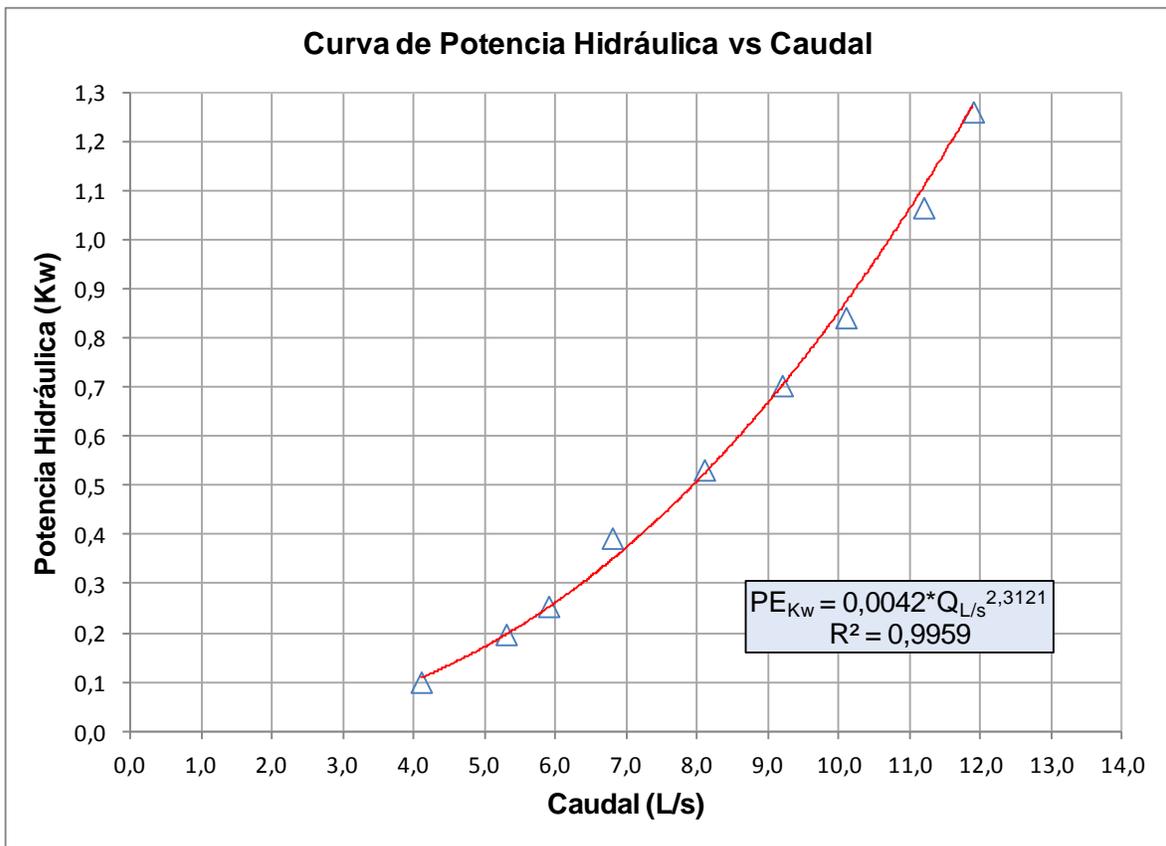


FIGURA 15 Curva de caudal vs altura de la caída de agua

## Prueba de Potencia vs Caudal

En la figura 16 se aprecia la tendencia exponencial de las variables potencia hidráulica vs caudal, la cual muestra que para caudales entre 4 y 14 L/s se obtienen potencias hidráulicas entre 0,1 y 1,3 Kw aproximadamente.



**FIGURA 16** Grafica de Potencia vs Caudal

## Prueba de Potencia Hidráulica vs Velocidad

En la figura 17 se aprecia la tendencia de las variables potencia hidráulica vs velocidad de rotación, la cual muestra que para velocidades entre 100 y 1.200 RPM se obtienen potencias hidráulicas entre 0.1 y 1,3 Kw aproximadamente.

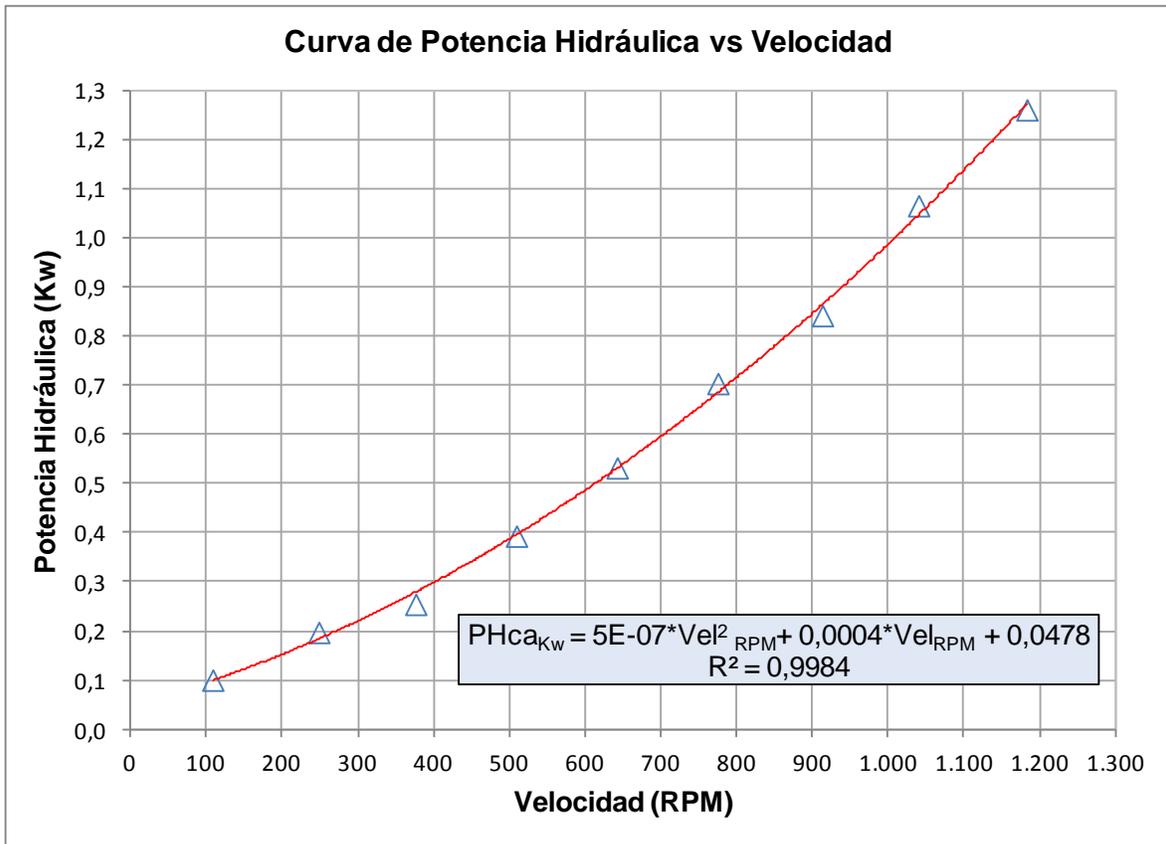


FIGURA 17 Grafica de potencia hidráulica vs Velocidad

## ***Elementos de Medición***

### **Multímetro:**

Para la recolección de los datos de voltaje, corriente y frecuencia de la corriente eléctrica.



**FIGURA 18 Medición del voltaje con la turbina Michell Banki en funcionamiento**

### **Tacómetro:**

Se utiliza para medir la velocidad de giro de la turbina y el alternador como generador (tomadas con un tacómetro digital láser).



**FIGURA 19 Medición de las revoluciones con el tacómetro**

### **Manómetro de Caratula:**

Para la recolección de la presión ejercida por el agua cerca a la entrada de la turbina (alabe directriz).



**FIGURA 20 Manómetro de Caratula en funcionamiento al momento de las pruebas**

### **Medidor Doppler:**

Se utiliza para medir el caudal que pasa por la tubería y se le inyecta a la turbina Michell Banki para controlar y variar el flujo de caudal para la generación.



**FIGURA 21 Medidor Doppler para medición de caudales en tuberías**

## CONCLUSIONES

- Se adecuó y evaluó en el laboratorio un sistema prototipo de pico generación (menor a 10kW) hidroeléctrica con una turbina Michell –Banki. El prototipo de turbina tiene un rodete con 15 cm de diámetro, un caudal de diseño de 12L/s.
- Al realizar este proyecto se obtuvieron una serie de resultados positivos ya que se pudo producir energía eléctrica de un modo limpio. En este caso se usó una fuente artificial de caudal para simular las condiciones que se puede obtener de una fuente natural y disponible en nuestro país, con bajos recursos y una inversión inicial recuperable a muy corto plazo ya que para este prototipo fue de \$400.000
- Del análisis del prototipo de turbina existente se identificaron puntos de mejora como son: geometría de la carcasa, la manera como se ensambla el inyector y el álabe directriz, el material del álabe directriz.
- Se puede construir un sistema de bombeo en el Instituto Tecnológico Pascual Bravo, para poder continuar con los estudios de las turbina y de posteriores trabajos de generación de energía.
- Por efectos de practicidad y facilidad de consecución se escogió alternador el cual debería ser reemplazado por un generador eléctrico o implementar al sistema en conversor DC/AC.

## RECOMENDACIONES

- Continuar la investigación y desarrollando maneras más fáciles, rápidas y económicas para construir este tipo de sistemas de generación eléctrica.
- Implementar materiales más resistentes con procesos de galvanizado para evitar la corrosión.
- Implementar nuevos materiales amigables con el medio ambiente para la construcción de una generación de turbinas hidroeléctricas.
- Usar un generador eléctrico sincrónico en lugar de un motor eléctrico como generador.
- Hacer ensayos con otros valores de capacitancia teniendo cuenta la carga eléctrica.
- Considerar el uso de otro tipo de transmisiones y de distintas relaciones de transmisión. De esta manera se pone a trabajar la turbina en un mejor punto de operación.

## BIBLIOGRAFÍA

- Benavides Moran, A. G. (2009). Aprendizaje de la estática en las carreras de ingeniería mecánica de Medellín . *Aprendizaje de la estática en las carreras de ingeniería mecánica de Medellín* . Medellin.
- Gomez Gomez, J. (2009). *Turbina de Flujo Cruzado*. Medellin.
- Gomez Gomez, J. I., Palacio Higueta, E. A., & Paredes Gutierrez, C. A. (17 de Mayo de 2008). La turbina Michell - Banki y su presencia en Colombia. *La turbina Michell - Banki y su presencia en Colombia*. Medellin, Antioquia, Colombia.
- Gomez, J. I. (2006). Sustitución de Fuente de Energía con Microcentral Hidroeléctrica. Caso Microcentral - Pipintá. *Energetica ISSN*, 39-47.
- Gomez, J. I. (2010). Dimensionado y Tolerado Geométrico de Piezas Mecánicas. En J. ROMERO VERGARA, *Dimensionado y Tolerado Geométrico de Piezas Mecánicas* (pág. 354). Medellin.
- Hernandez, C. (2000). *Manual de diseño estandarizacion y fabricacion de equipos para pequeñas centrales hidroelectricas*. Medellin: Olade.
- <http://www.cec.uchile.cl/>. (s.f.). Obtenido de <http://www.cec.uchile.cl/~jfiguero/banki.html>.
- Mantilla Gonzales, J. M., Duque Daza, C. A., & Galeano Urueña, F. (2008). Analisis del esquema de generacion distribuida como opcion para el sistema electrico colombiano. Medellin: Revista Facultad de ingenieria Universidad de Antioquia.
- Sierra Vargas, F. E., Sierra Alarcon, A. F., & Guerrero Fajardo, A. (25 de Agosto de 2011). Pequeñas y microcentrales Hidroelectricas. *Alternativa Real de generacion*.
- Vergara, J. R. (2007). Normas sobre dimensionado y tolerado geométrico.