

TURBINAS HIDROELÉCTRICAS MICHELL BANKI PARA APLICACIÓN EN COMUNIDADES AISLADAS.

T. Reyna¹, S. Reyna², M. Lábaque³; C. Riha⁴; E. Giménez⁵

Maestrías en Ciencias de la Ingeniería Mención en Recursos Hídricos y en Ambiente, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba. Av. Vélez Sarsfield 1611. Córdoba, Argentina. Tel. 0351 4692737. Fax 0351 4681382. e-mail: teresamaria.reyna@gmail.com

RESUMEN:

Los sistemas micro-hidráulicos encuentran su aplicación en zonas que presentan suministro de energía insatisfecho y que además dispongan de un curso de agua con un salto incluso de pocos metros. Las centrales de tamaño muy pequeño son opciones muy interesantes para poblaciones en áreas serranas sin acceso a la red eléctrica convencional. Las centrales micro hidráulicas son además muy atractivas debido a que tienen un impacto sobre el entorno reducido. Las turbinas Michell-Banki son un tipo de turbinas que se adaptan muy bien para la generación en mini y micro centrales hidroeléctricas. En este artículo se presenta el proyecto y construcción de una turbina Michell-Banki realizada completamente en la Provincia de Córdoba con el fin de establecer el grado de complejidad involucrada para ser considerada una opción para pequeñas localidades de la zona. Los resultados las mostraron como sencillas, tienen bajos costos de fabricación, de instalación y de mantenimiento.

Palabras clave: energía hidráulica, aplicación tecnológica, microturbinas.

INTRODUCCIÓN

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. El objetivo es lograr el mejoramiento de las condiciones de vida, preservando el medio ambiente. Muchas comunidades aisladas necesitan de sólo una pequeña cantidad de energía para satisfacer sus necesidades básicas. Algunas escuelas rurales han logrado resolver los problemas de electricidad con la incorporación de paneles fotovoltaicos con baterías que les permiten resolver mínimamente los problemas de energía pero que no alcanza para poder instalar motores que contribuyan con las necesidades de educación local. Sin embargo el suministro de energía eléctrica por medio de líneas convencionales presenta un alto costo en las zonas de baja densidad de utilización.

En Argentina existe un alto potencial de fuentes energéticas renovables y es posible establecer escenarios tecnológicamente y económicamente factibles, con grandes ventajas ambientales. Las microturbinas hidráulicas pueden ser utilizadas en todas las zonas del país donde se dispone de arroyos con saltos y condiciones naturales adecuadas para su instalación. Sin embargo su uso es todavía incipiente y no generalizado.

Como ejemplo de desarrollo en Argentina, en los años ochenta, mediante la implementación de un programa oficial de desarrollo entre el Gobierno de la Provincia y la Universidad Nacional de Misiones, se construyeron siete proyectos hidráulicos en pequeñas localidades rurales, para abastecer de electricidad a viviendas próximas a los recursos hídricos. El de mayor potencia instalada fue de 50 kW y el de mayor número de usuarios fue de 50 familias.

El mercado potencial actual para el uso de energía hidráulica es importante. En Córdoba, la población rural es el 11,3 % de la población de la Provincia y el 6% se encuentra en zonas aisladas. El 30% de la población rural se considera que no se encuentra conectado al sistema de distribución eléctrica.

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.

HISTORIA

Las ruedas de agua se han utilizado desde épocas antiguas, para hacer tareas laboriosas. Las primeras turbinas hidráulicas modernas fueron desarrolladas en la primera parte del siglo XIX, por el Ingeniero Civil Benoît Fourneyron (St-Etienne, 1802 – Paris, 1867), en Francia. Éstas fueron desarrolladas más a fondo por un número de investigadores durante mediados del siglo XIX. El descubrimiento de la luz eléctrica y de maneras de distribuir electricidad ocurrió casi en el mismo tiempo, conduciendo a un gran auge en el desarrollo hidroeléctrico en Europa y Norteamérica. Hasta inicio de la década de 1920, la mayoría de los progresos hidroeléctricos eran pequeños, en la gama del tamaño que ahora se denominan minihidroeléctrica o aún micro-hidroeléctrica (Vásquez de León, 2007).

En Córdoba, los jesuitas desarrollaron aprovechamientos hidráulicos con la construcción de tajamares los cuales forman parte de los diques más antiguos de Latinoamérica y son los más antiguos de la Provincia de Córdoba. Debido a la insuficiencia de

¹ Profesor Adjunto Cátedra de Obras Hidráulicas

² Profesor Titular Cátedra de Obras Hidráulicas

³ Profesor Adjunto Cátedra de Obras Hidráulicas

⁴ Alumno Maestría en Cs. de la Ingeniería

⁵ Alumno Carrera de Ingeniería Aeronáutica

agua de la zona, las primeras obras de los jesuitas dentro de las estancias fueron de ingeniería hidráulica. Sus sistemas hidráulicos tenían por finalidad el suministro de agua para riego de sus campos y suministro de fuente de energía para el movimiento de sus molinos. Dentro de la estancia, el agua era utilizada para uso doméstico y cumplía otra novedosa función, desconocida por los habitantes de estas tierras: sistema de recolección de aguas servidas. Algunos de ellos continúan hoy en funcionamiento conservando algunas de las funciones para las que fueron creadas, otros cambiaron sus fines o se encuentran actualmente fuera de uso; pero todos se mantienen en pie y en condiciones de ser puestos nuevamente en funcionamiento con un mínimo de reparaciones.

Las instalaciones hidroeléctricas de pequeño tamaño.

Las instalaciones de pequeño tamaño (micro hidráulicas), de potencia inferior a 100 kW, son instalaciones más versátiles y sin efectos negativos sobre el medioambiente. Son numerosos los lugares con potencialidad para el desarrollo de la energía hidráulica.

La necesidad de encontrar soluciones energéticas descentralizadas de bajo costo e impacto ambiental que contribuyeran al desarrollo de localidades aisladas volvió interesante el aprovechamiento del potencial hidráulico de las microcentrales hidroeléctricas. Dentro de ese contexto, las turbinas de flujo cruzado, de fácil construcción, mantenimiento e instalación, que presentan también diversos adelantos técnicos, son utilizadas cada vez más en diversos países (Gonçalves de Mello Jr, A. et. al, 2007).

Aunque sea difícil cuantificar el potencial micro hidráulico disponible (harían falta estudios muy detallados del territorio), es presumible que el potencial no aprovechado por los grandes aprovechamientos pueda ser utilizado por las centrales hidroeléctricas de pequeño tamaño. El aprovechamiento hidroeléctrico en pequeña escala adecuadamente dimensionado y ubicado, resulta económicamente competitivo respecto a las otras fuentes energéticas renovables y, considerando los costes globales reales, también respecto a las fuentes energéticas tradicionales. Las instalaciones micro hidráulicas representan por lo tanto una forma de energía valiosa, porque con un impacto medioambiental muy bajo utilizan una fuente energética renovable, que de otra manera se perdería.

Aunque presenta rendimientos menores, la turbina de flujo cruzado es de fácil construcción, instalación, operación y mantenimiento. Como prácticamente no depende de piezas fundidas, puede ser fabricada en talleres de mantenimiento de tractores y maquinaria agrícola, utilizando máquinas herramientas y de soldar, sin precisar de orientación y supervisión demasiado especializadas. Además, la mano de obra puede ser preparada mediante un entrenamiento relativamente fácil (Gonçalves de Mello Jr, A. et. al, 2007)

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. No obstante, esto no impide que la turbina se utilice en grandes instalaciones y actualmente existen máquinas de este tipo de hasta 6 MW (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. Por lo tanto en el diseño debe considerarse el mínimo caudal que será el parcial y para épocas de abundancia de agua, se considerará el caudal total que será utilizado para usos productivos.

Principio de Funcionamiento

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. El inyector posee una sección transversal rectangular que va unida a la tubería de aducción por una transición rectangular - circular. Este inyector es el que dirige el agua hacia el rotor a través de una sección que abarca una determinada cantidad de álabes del mismo, y que guía el agua para que entre al rotor con un ángulo determinado, obteniendo el mayor aprovechamiento de la energía.

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). Los ensayos realizados por distintos investigadores sitúan el rendimiento hidráulico de esta máquina entre un 65-70%, otros autores mencionan un 61% aclarando que la segunda etapa entrega un 17%, y en general se indica un rango de 70% hasta un 84%. Una característica atractiva de esta máquina es la forma aplanada de su curva de rendimiento. Esto se logra con un diseño de la turbina con admisión parcial. Por ejemplo: si se divide el rotor en 3 partes iguales y la admisión del agua se puede realizar por 1/3, 2/3 o la totalidad del rodete (ITDG, 2004).

Campo de Aplicación

Fundamentalmente su aplicación se destina a la producción de energía eléctrica en pequeña escala, o en otros casos, su eje se acopla por correa a otros dispositivos mecánicos, y la energía mecánica obtenida se utiliza directamente en trabajos de taller. El campo de aplicación cubre un sector de la demanda que dejan libres otros tipos de máquinas, como se aprecia en los gráficos proporcionados por los fabricantes, tal como el de la figura 1. De acuerdo con este campo de aplicación, las turbinas de flujo transversal poseen Números Específicos o Velocidades Específicas (n_s) que varían entre 18 y 60 para n_s en función del caudal, y entre 51 y 175 para n_s en función de la potencia.

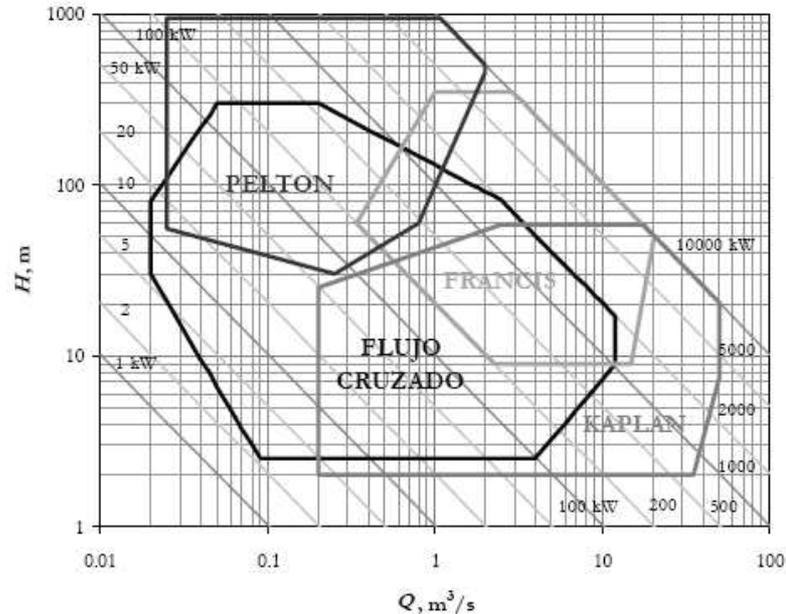


Figura 1 Campo de aplicación de la turbina hidráulica de flujo cruzado en función de la carga disponible (H) y el caudal (Q) (Cotacallapa Vera, 2005).

LA TURBINA DE FLUJO TRANSVERSAL COMO TURBOMÁQUINA DE ACCIÓN

Según la teoría de las turbomáquinas, se puede relacionar la cupla en el eje de una turbina con el salto o altura rotórica (altura útil), arribando a la ecuación de Euler para turbomáquinas (ecuación 1), de la cual una de sus formas es la siguiente:

$$g * H_r = \frac{C_1^2 - C_2^2}{2} + \frac{u_1^2 - u_2^2}{2} + \frac{w_1^2 - w_2^2}{2} \quad (1)$$

Donde:

H_r = Altura relativa (m).

C_1 = Velocidad absoluta al ingreso de la primera etapa (m/s).

C_2 = Velocidad absoluta a la salida de la primera etapa (m/s).

u_1 = Velocidad tangencial de la turbina al ingreso de la primera etapa (m/s).

u_2 = Velocidad tangencial de la turbina a la salida de la primera etapa (m/s).

w_1 = Velocidad relativa del fluido al ingreso de la primera etapa (m/s).

w_2 = Velocidad relativa del fluido a la salida de la primera etapa (m/s).

Considerando a la turbina Michell-Banki como una turbina de acción pura o impulso, se puede realizar el diseño hidráulico de la misma haciendo un análisis análogo a lo realizado por diferentes autores para una turbina Pelton.

CÁLCULO DEL SISTEMA DE REGULACIÓN DE FRECUENCIA

La regulación de la tensión y frecuencia con la que se suministra energía para los usos domésticos y productivos de la electricidad en corriente alterna, son los parámetros de la calidad del servicio.

La excesiva disparidad con respecto a los valores nominales para los que están diseñados los artefactos y equipos, produce alteraciones en la función que prestan, daños permanentes y alteración o reducción de la vida útil de los mismos. Tensiones elevadas pueden dañar la aislación de los bobinados en los motores eléctricos y sacarlos de servicio. Tensiones muy bajas provocan sobrecalentamiento de los motores con la consiguiente reducción de su vida útil. La causa de las variaciones de tensión y de frecuencia del sistema es la variación de la carga que debe alimentar el generador.

Existen dos sistemas básicos para mantener los parámetros eléctricos del sistema dentro del rango admisible de calidad: regulación por carga y regulación por caudal.

Regulación por carga

Consiste en mantener carga constante, ya sea durante todo el tiempo de operación o en escalones de carga durante períodos hoorestacionales. De este modo si el generador ve una carga constante, no se producirá variación de tensión y frecuencia.

Para mantener la carga constante pueden incorporarse al sistema usos alternativos de la electricidad o bien dispersar los excedentes de potencia no utilizados en cargas balasto-resistivas. Los usos alternativos pueden colocarse tanto en la red de alimentación de usuarios como en la misma sala de máquinas. Estos permiten un aprovechamiento más eficiente de la energía que la solución de disipar calor para mantener la carga constante (Mazariegos Ramírez, 2008)

Un sistema típico de carga constante es el de alimentar solo iluminación, un servicio de 4 o 6 horas durante la noche, en este caso las viviendas no tienen llaves para comandar sus luminarias. Algunos sistemas más sofisticados se han usado con circuito alternativo en las viviendas; un circuito destinado al calentamiento de agua o a cocinas eléctricas de acumulación que funcionan durante el día, y el otro cuya potencia es de la misma magnitud y que corresponde a la carga de iluminación, que se usa durante la noche de manera que la demanda del usuario del sistema siempre sea una carga constante.

Cuando se corrige la carga en la sala de máquinas, se puede instalar un banco de baterías adecuadamente dimensionado para que absorba los excedentes de energía complementando un servicio mixto de redes y de carga de baterías. También puede diseñarse el banco de las baterías para cargarse durante las horas de baja demanda y mediante un inversor inyectar energía a la red durante las horas de mayor demanda.

Regulación por caudal

Cuando la demanda de energía del generador es variable, es la turbina la que debe suministrar una potencia variable durante la operación. La variación de la potencia de la turbina se obtiene variando el caudal de agua que ingresa al rotor, ya que la altura de carga es fija. Las características a las que deben adecuarse un regulador de tensión y frecuencia, actuando en un pequeño sistema aislado de generación, son las siguientes:

Momento de inercia del conjunto Turbina - Generador apreciable respecto de la apertura del dispositivo de regulación de caudal de la turbina y pequeño respecto de las variaciones de carga del sistema eléctrico: Determina que la velocidad del conjunto pueda variar muy rápidamente ante alteraciones de la carga, lo que implica disponer de un regulador de frecuencia de elevada capacidad de respuestas. Sin embargo, esto se contrapone con una respuesta lenta de la velocidad a la apertura o cierre del dispositivo de regulación de caudal, condición que provoca inestabilidad del sistema. (Mazariegos Ramírez, 2008).

Generadores de baja potencia

Determina que la inclusión de una carga pequeña en el sistema (500 watt) significa un gran porcentaje de variación de la carga total, ya que los generadores poseen una potencia nominal que va desde 3 a 40 kW lo que produce grandes porcentajes de variación de frecuencia. Además los generadores de menor potencia tienen el inconveniente de la carga que representa el sistema regulador, que es una parte considerable de su potencia.

Emplazamiento de los aprovechamientos en las zonas rurales, en general alejadas de las líneas de energía del sistema centralizado: Caracteriza al sistema por tener que regularse sin contar con la tensión y la frecuencia del sistema eléctrico regional como referencia.

Adicionalmente se instala un bloque de cargas de compensación que consta de un banco de resistencias que, ante un cambio brusco en la carga del sistema, compensan este cambio en forma aproximada y luego lentamente vuelve al estado inicial permitiendo al regulador de frecuencia ir acomodándose sin que haya desplazamientos grandes de la velocidad del grupo turbina –generador. Esta forma de compensación puede ser reemplazada por otro sistema que incorpore cargas en función del desplazamiento de frecuencia que sufra el generador. La adopción de uno u otro método de regulación dependen de la abundancia o escasez del recurso hídrico y la curva de carga del sistema. Si el recurso hídrico es escaso es conveniente regular por caudal para hacer óptimo el aprovechamiento del mismo.

APLICACIÓN PRÁCTICA AL DISEÑO DE UNA TURBINA MICHELL-BANKI

Para la micro turbina seleccionada, el diseño considera los siguientes parámetros: Salto efectivo 25,00 metros y caudal 0,120 m³/s.

Selección del diámetro del rotor

Una turbina Michell-Banki opera en condiciones similares cuando el valor Q/\sqrt{H} es constante, también se sabe que la eficiencia de estas turbinas no varía apreciablemente en amplios intervalos de valores de Q y H. Con estos criterios se selecciona el diámetro del rotor utilizando la Tabla 1. El diámetro del rotor seleccionado es de: 200 mm

Q/\sqrt{H}	Diámetro del rotor (mm)
0.02236 – 0.04743	200
0.04743 – 0.07906	300
0.07906 – 0.11068	400
0.11068 – 0.15812	500

Tabla 1 Selección del diámetro del rotor (INE, 1986).

El diámetro interno del rotor resulta de aplicar la expresión (2). El valor obtenido fue de: 132,00 mm.

$$D_i = 0.66 * D_e \quad (2)$$

Velocidad de giro de la máquina

Una vez seleccionado el diámetro se procede a obtener la velocidad de giro de la máquina mediante la expresión (3). Para este caso el valor obtenido fue de 912 rpm:

$$n = 40.62 * k_c * \frac{\sqrt{H_n}}{D} \quad (3)$$

Donde:

k_c = coeficiente de velocidad del inyector. Se adopta el valor 0,967 para la etapa de diseño

Número de álabes del rotor

La selección del número de álabes se realiza en base al diámetro del rotor. Se debe tener en cuenta que un reducido número de álabes provocará pulsaciones en la generación de la potencia, y un número elevado producirá una aceleración de la vena fluida con el consiguiente aumento de las pérdidas y el efecto de reja. Según diversas investigaciones existe un número óptimo de álabes. La tabla 3 permite adoptar un número de álabes óptimo en función del diámetro del rotor. De acuerdo a los valores dados en dicha tabla se adopta un número de $Z=22$ álabes.

Diámetro del rotor (mm)	Número de Alabes
200	22
300	24
400	26
500	28

Tabla N° 2. Selección del número de álabes del rotor (Fuente INE, 1986)

Ancho del rotor

El ancho del rotor resulta de aplicar la expresión (4). El valor obtenido fue de: 0,25 m.

$$B = 0.259 * \frac{Q}{k_c * D * \sqrt{H_n * X_z}} \quad (4)$$

Donde X_z es la relación de número de álabes. Este parámetro se ubica entre un valor de 0,05 y 0,35. En este proyecto se adopta un valor de 0,175.

Diseño del inyector

El inyector es el encargado de guiar el flujo hacia el rotor. Esta conducción debe poseer una buena aceleración y una distribución de velocidades uniforme en la sección de salida, así como un bajo nivel de pérdidas de carga. La cara superior posee una curva con un ángulo α_1 óptimo constante en cada punto de la misma donde la velocidad absoluta será tangente.

La cara inferior es recta y puede tener un ángulo de 5° como máximo (ver figura 2).

El chorro entra al rotor con un ángulo tangente a la periferia de la rueda. El flujo que abandona las paredes sólidas del inyector es definido como un chorro libre y como la velocidad a la salida tiene un valor un poco más pequeño que el valor de diseño, provoca un incremento en el arco de entrada. Los ángulos de admisión van desde los 30° hasta los 120° , siéndole ángulo de admisión θ_a óptimo para este tipo de turbina de alrededor de los 90° (ITDG, 2004).

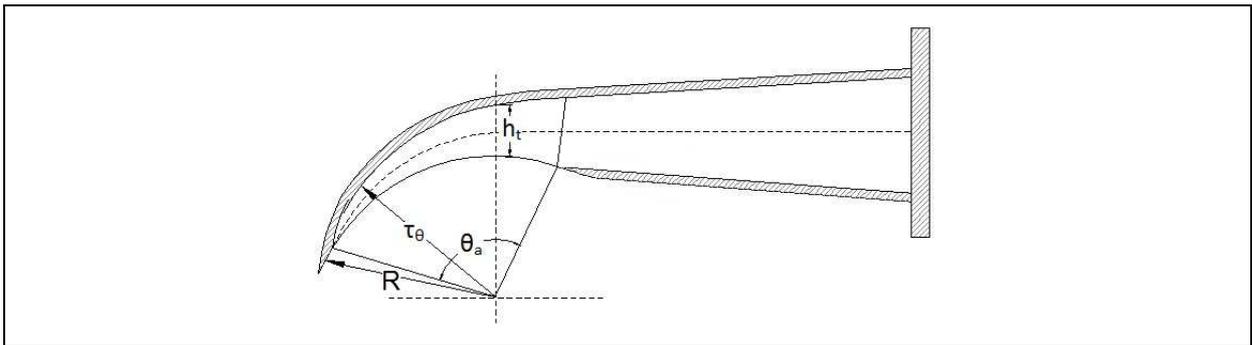


Figura 2. Sección característica del inyector donde h_i es la altura del inyector en cada punto; θ_a es el ángulo de admisión del rotor, τ_θ es el radio de la curva envolvente del inyector y R es el radio del rotor.

Ancho del Inyector

El ancho del inyector puede calcularse aplicando la ecuación 5. El valor para este caso fue de 0,196 m.

$$B_i = \frac{360 * Q}{(\pi * D_e - e * Z) * \delta * k * \sqrt{2 * g * H * \text{sen} \alpha_1}} \quad (5)$$

B_i = Ancho del inyector (m)

D_e = Diámetro exterior de rotor (m)

k = Constante de velocidad absoluta

e = Espesor del álabe (m)

α_1 = Ángulo entre la velocidad absoluta y velocidad tangencial al ingreso del inyector

Q = Caudal de ingreso a la turbina (m^3/s)

δ = Ángulo de admisión del rotor

H = Altura disponible nominal (m)

Z = Número de álabes del rotor

DISEÑO MECÁNICO

Finalizado el diseño desde el punto de vista hidráulico, de las distintas partes que conforman la turbina, resulta necesario efectuar el diseño mecánico de los elementos con el fin de garantizar que los mismos no sufrirán un deterioro prematuro una vez puesto en funcionamiento el equipo a causa de un dimensionado inadecuado.

En primera instancia determinan los esfuerzos estáticos (peso propio de cada álabe) y los esfuerzos hidráulicos (debidos al impacto del agua). Posteriormente se verifica la resistencia desde el punto de vista de las tensiones internas a fin de garantizar que el elemento no sufra deformaciones excesivas que produzcan, entre otros efectos adversos, el desbalanceo del conjunto rotacional.

ETAPAS CONSTRUCTIVAS

Luego de finalizado el diseño mecánico se efectuaron los planos constructivos de los distintos subconjuntos, indicándose en los mismos las dimensiones y tipo de materiales y tratamientos superficiales correspondiente a cada elemento. En la figura 3 se presenta el plano 3D con el despiece utilizados para la fabricación de la microturbina.

Luego de finalizados los trabajos de gabinete se comenzó con la construcción de los distintos elemento de la turbina para ello 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) luego de finalizadas se sometieron a un tratamiento superficial de zincado en caliente para prolongar su vida útil. En figura 4 se puede advertir el estado de desarrollo parcial tanto del conjunto del rotor como del inyector, ambos construidos en acero SAE 1020.

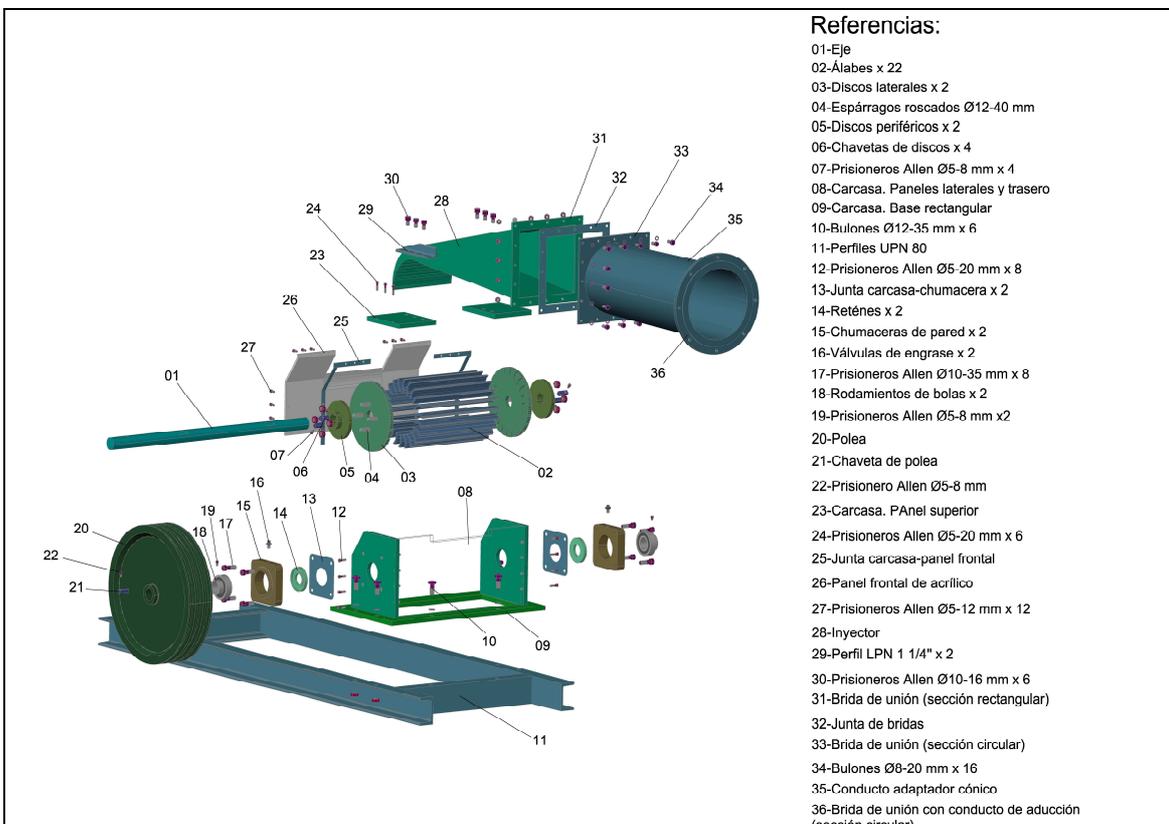


Figura 3. Despiece de turbina Michell Banki proyectada.



Figura 4 Conjunto del rotor e inyector

En la figura 5 se puede observar la turbina totalmente ensamblada y colocada sobre el bastidor de perfiles normales UPN sobre el cual se montará posteriormente el generador trifásico de 50 Hz con una potencia de 37,50 kVA.



Figura 5 Turbina Michael Banki terminada

SISTEMA DE REGULACIÓN DE FRECUENCIA: SOLUCIÓN ADOPTADA

En el caso que se analiza en el presente trabajo, la regulación de la máquina (regulación de la frecuencia) se realiza mediante cargas de balasto en el sistema eléctrico, operando con caudal constante y manteniendo potencia constante en el eje de la máquina. Se basa en un dispositivo electrónico con microcontrolador destinado a regular frecuencia por absorción de carga.

El regulador de frecuencia mide la frecuencia de línea y además el valor de la carga secundaria (resistencia) para mantener la frecuencia constante. El sistema trabaja en el modo de derivación de cargas en forma automática, la cual se hará hacia un banco de resistencias que lleve incorporado el banco de regulación. El banco de resistencias como su nombre lo indica, consta de un grupo de resistencias a través de las cuales se disipa esa energía no consumida en forma de calor y que se la puede aprovechar para calentar un tanque de agua y así disponer de agua caliente cuando se necesite. De este modo se realiza un sistema de cogeneración, es decir, de producción de energía eléctrica y de energía térmica.

El sistema de regulación está compuesto por unos elementos modulares que se adaptan a cualquier tipo de instalación y de potencia eléctrica generada. Está prevista una regulación secundaria, con accionamiento manual, que permite intervenir en el flujo del agua para adaptar la turbina a las posibles variaciones estacionales del caudal.

Diseño del banco de resistencias para el calentamiento de agua

Con el fin de garantizar la carga constante en el sistema y evitar de esta manera la variación en la frecuencia de la corriente por variación de las revoluciones de la turbina, se planteó la necesidad de realizar en el sector de la usina la conexión de un banco de resistencias eléctricas, las cuales irán sumergidas en un depósito con agua que será posteriormente utilizada en las viviendas de la comunidad.

La capacidad del banco de resistencias será tal que pueda tomar el 100 % de la capacidad de carga del alternador, es decir para este caso 23,54 kW. Conjuntamente con el diseño del banco de resistencias se debe realizar el dimensionado del tanque que alojará a las mismas. Se considera que el agua es tomada del río a una temperatura mínima de 10°C, por otra parte y de acuerdo a las pérdidas de calor que se producen en el conducto que lleva el agua desde la usina hasta el poblado de 8°C y requiriendo en la punta de la tubería un agua con una temperatura de 32°C, resulta un salto térmico de 30°C.

Para la selección de las resistencias a instalar resulta necesario determinar el incremento finito que se pretende dar al escalonamiento de la potencia en el circuito. Este valor se encuentra asociado a la variación de la frecuencia eléctrica que es capaz de soportar un aparato eléctrico sin experimentar roturas y fallas en el tiempo. Se utilizarán en este caso resistencias eléctricas trifásicas conectadas en estrella, cada una de las cuales dispondrá de una potencia de 1500 watt, colocándose por tal

motivo un número de 16 unidades. Funcionando el 100% de los bancos de resistencias, la cantidad de agua a calentar por hora resulta de aproximadamente 740 l/h

Construcción del conducto de aducción

Para la transición entre el inyector y el conducto forzado en el cual será instalada la turbina, se deberá construir un adaptador de entrada circular correspondiente a un tubo de diámetro nominal de 8"; y salida rectangular, coincidente con la boca del inyector. En ambos extremos el adaptador poseerá una brida abulonada con sus correspondientes juntas estancas. Finalmente, a este tramo de tubería también se le efectuará un baño de zinc en caliente a fin de mejorar su resistencia a la corrosión.

CONCLUSIONES

El desarrollo de las energías renovables es la consecuencia previsible de una mirada al tema energético desde la perspectiva de la sustentabilidad. Esto ha implicado un cambio de paradigma donde no se piensa ya solamente en la gran central térmica y el consumo desenfrenado sino que, por el contrario, se considera a todas las distintas fuentes de energía como posibles aportantes a la solución del problema y, al mismo tiempo, plantea un uso racional de la energía que, aunque abundante, nunca será infinita.

Las turbinas de flujo transversal del tipo Michell-Banki son utilizadas principalmente para pequeños aprovechamientos hidroeléctricos para el suministro de localidades aisladas. El proyecto presentado verificó que se trata de una turbina con un diseño sencillo y de fácil construcción lo que la hace atractiva a pequeña escala.

Cabe destacar que el proyecto donde se enmarcó este estudio buscaba aplicar tecnologías simples de energías limpias hidroeléctricas sin represamiento, de bajo costo que permitieran su construcción e instalación para aplicarlo a comunidades aisladas. El interés era desarrollar completamente la máquina 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.

Finalmente el interés de estos proyectos busca colaborar a las políticas que eviten la emigración de las zonas aisladas dado que Córdoba como otras provincias sufre actualmente de inmigración interna desde las zonas rurales a las zonas urbanas, una de las razones de la misma es la falta de acceso al sistema eléctrico lo cual no les permite el acceso a tecnologías, comunicación y educación que existe en las ciudades y por lo que deben emigrar.

REFERENCIAS

- Cotacallapa Vera, R. (2005). "Influencia y Validación de la Modificación de Principios que Rigen el Diseño de la Turbina Hidráulica de Flujo Cruzado". Tesis Para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico. Universidad Nacional de Ingeniería Facultad de Ingeniería Mecánica. Lima Perú.
- Gonçalves de Mello Jr, A.; Fagá, M. T.; Raia, F.; Crisi, G. S. (2007). Optimización del Rendimiento de una Turbina de Flujo Cruzado (Michell - Banki): Modificaciones Mecánicas y Adaptaciones Constructivas Realizadas. 8° Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica, Cuzco.
- Mazariegos Ramírez, M. (2008). Descripción Técnica del Diseño, Montaje y Operación de la Pequeña Central Hidroeléctrica En La Finca Santa Elena En el Departamento de Escuintla. Estudio Especial de Graduación. Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería Escuela de Estudios de Postgrado Maestría en Energía y Ambiente. Guatemala.
- Instituto Nacional de Energía (INE). (1986). "Estandarización de turbinas Tipo Michell-Banki". Quito.
- ITDG, Soluciones Prácticas. (2004). Ficha Técnica N° 2. Turbina Michell Banki.
- Vásquez de León, J. D. (2007). Micro-Hidroeléctrica Tipo Michell Banki, Funcionamiento, Mantenimiento y Componentes. Trabajo de graduación para Ingeniero Mecánico. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.

ABSTRACT

Micro-hydro systems are applied in areas with power supply also dissatisfied and have a stream with a jump even a few meters. The very small plants are very interesting options for mountain populations in areas without access to conventional power grid. Micro hydro plants are also very attractive because they have a reduced impact on the environment. Michell-Banki turbines are a type of turbines that are well suited for the generation of mini and micro hydro. This article presents the design and construction of a Michell-Banki turbine made entirely in the Province of Cordoba to establish the degree of complexity involved to be considered an option for small towns in the area. The results were shown as single, have low manufacturing costs, installation and maintenance.

Keywords: hydropower, technological application, microturbines.