

HIDRORED

RED LATINOAMERICANA DE MICRO HIDROENERGÍA

ISSN 0935 - 0578

1/2003



Foto Archivo Programa de Energía, Infraestructura y Servicios Básicos ITDG.

Estimados lectores:

Nos damos encuentro en una nueva edición de Hidrored, la misma que en esta oportunidad compartirá con ustedes tres interesantes artículos.

El primero de ellos nos traslada hasta Uganda donde se analiza el caso de un sistema hidroeléctrico instalado para satisfacer las necesidades del hospital Kisiizi, el mismo que, gracias a una gestión inteligente de la carga, mejoró el costo-eficiencia de la microcentral.

También se presenta el caso de la turbina axial desarrollada por ITDG en Perú en el cual, de una forma muy didáctica, obtendremos importantes conclusiones sobre su diseño y funcionamiento.

De igual modo, compartimos la experiencia exitosa de especialistas brasileños en el desarrollo de una turbina hidrocíntrica diseñada para generar electricidad a partir de la corriente de agua en los ríos.

Finalmente, les alcanzamos los detalles más significativos del X ELPAH, realizado en Brasil el pasado mes de mayo.

Esperamos de este modo, seguir contando con su preferencia y hacemos propicia la oportunidad para invitarlos a participar, a través de sus artículos, en las próximas ediciones de Hidrored.

El Comité Editorial



Gestión inteligente de la carga en una microcentral hidroeléctrica

Nigel Smith

Introducción

En años recientes se ha realizado un esfuerzo considerable para reducir los costos de capital de las centrales hidroeléctricas aisladas. Estas reducciones se han logrado en varias áreas que incluyen: la estandarización de los componentes del diseño, reemplazo de controles mecánicos e hidráulicos usando sistemas de potencia electrónicos y contribuciones en mano de obra de los beneficiarios de los proyectos. Sin embargo, se ha dado poca importancia a la mejora de los factores de carga para maximizar los beneficios de las centrales.

Las centrales hidroeléctricas aisladas se caracterizan con frecuencia por picos altos y demandas promedio bajas. Este es particularmente el caso de las centrales para electrificación de comunidades en países en desarrollo donde la demanda promedio puede ser tan baja como el 15 a 20 % de la demanda pico¹. Esto presenta dos principales desventajas:

- 1) Los generadores están invariablemente sobrecargados en las horas pico. Esto ocasiona una operación a sub-voltajes cuando hay pequeñas sobrecargas y apagones seguidos cuando se presentan grandes sobrecargas. El resultado es la insatisfacción del usuario y pérdidas de productividad en actividades generadoras de ingreso.
- 2) Durante las horas de baja demanda, la capacidad de la central hidroeléctrica se usa sólo parcialmente y se desperdicia la energía disponible pues la mayoría de las centrales aisladas están en función de la corriente de un río. Esto reduce los beneficios de los usuarios finales y el costo-eficiencia promedio de la central.

El presente artículo presenta dos tecnologías para la gestión que abordan los problemas de los factores de sobrecarga y de carga baja. Se describe su aplicación para superar los problemas de gestión de la carga en un hospital rural de Uganda.

LAS TECNOLOGÍAS

Control de la demanda pico por medio de limitadores de corriente

El uso de medidores de energía (kwh) está tan extendido que usualmente se

asume que la medición directa del consumo eléctrico es la única base aceptable para el cobro de dicho suministro. Sin embargo, los medidores de energía no limita la demanda pico y, en consecuencia, existen muchos proyectos aislados de electrificación donde la demanda se ha incrementado y excedido la capacidad de abastecimiento con consecuencias serias para un suministro de calidad y confiabilidad.

Con un suministro limitado de corriente, al consumidor le está permitido aumentar la corriente hasta un límite prescrito en todo momento y pagar un recibo por servicio mensualmente fijo, de acuerdo a la valoración del limitador de corriente. Si los consumidores se exceden en el límite de corriente son desconectados temporalmente. Ajustando los limitadores de corriente a todas las conexiones puede controlarse la demanda máxima dentro de la capacidad del generador. El crecimiento de la demanda puede ser manejado, permitiendo superar los valores máximos de los limitadores de corriente sólo en el caso que exista una capacidad excedente.

El concepto de una conexión de corriente fija o limitada está bien establecida, aunque hasta ahora haya sufrido una falta de tecnología adecuada. En Zimbabwe se usan los mini-interruptores de circuito estándares como limitadores de corriente, reemplazando a los medidores en más de 100,000 hogares conectados a la red principal². Sin embargo, estos interruptores de circuitos tienen un serio inconveniente pues, debido a que son de fácil acceso para el restablecimiento de suministro, también son fácilmente manipulados por consumidores fraudulentos.

Un limitador de corriente diseñado expreso, denominado *PowerProvider*, ha sido presentado recientemente, el cual se auto-restablece luego de un tiempo fijo de demora. Este es más conveniente para el usuario pues para el caso de un apagón bastará con que reduzcan su carga y aguarden el retorno del suministro. Además es más seguro contra manipulación y robo de energía, pues dicho limitador podría ser montado en un poste de servicio o distribución fuera de la casa.

Los pagos mensuales fijos por un suministro con *PowerProvider*, permiten que el consumidor presupueste sus gastos más fácilmente y reduce la probabilidad de incumplimiento de los pagos. Puede ofe-

cerse una opción de pago anual anticipado para permitir a los agricultores pagar por su suministro cuando el ingreso se genera, en la época de cosecha³.

Uso mejorado de la energía pico a través de controladores de carga distribuida

La mayoría de las pequeñas centrales hidroeléctricas por debajo de una capacidad de 250 kW, usa un controlador electrónico de carga para regular la frecuencia generada, disipando cualquier potencia excedente en una carga resistiva conocida como el balasto o "banco de resistencias". Para diseños de este tamaño, tales controladores son más baratos y confiables que los gobernadores de control de flujo. La energía disipada en el balasto raramente se usa productivamente. Existen varias razones para esto:

- * El banco de resistencias o balasto usualmente son instalados en la casa de máquinas, ya que son enfriados por agua y esto está frecuentemente lejos de los consumidores.
- * La incierta y variable disipación de energía es inadecuada o inconveniente para muchas aplicaciones.
- * El balasto es esencial para la correcta operación del sistema hidráulico y por tanto no debería ser usado para alguna aplicación que pudiera comprometer su confiabilidad.

El Controlador Inteligente de Carga Distribuida (CICD) permite un uso productivo de la potencia excedente disponible sin sobrecargar el sistema⁴. Cierta número de CICD's son ajustados en puntos convenientes del sistema de distribución, cada uno controlando una carga de prioridad baja. Como cargas típicas tenemos calentadores de agua o de habitación. Los CICD's perciben la frecuencia generada y encienden sus cargas cuando su frecuencia es normal. Una sobrecarga ocasionará una caída de la frecuencia, los CICD's lo detectan y apagan las cargas que controlan. Los CICD's pueden ser fijados en umbrales de frecuencia diferentes de tal modo que las cargas de prioridad baja puedan ser priorizadas. El empleo de CICD's permite un uso más productivo de la potencia generada reduciendo la cantidad de energía disipada en el balasto. El siguiente caso de estudio muestra cómo



usando tanto CICD's como *PowerProvider* pueden resolverse los problemas de sobrecarga y obtenerse un uso más productivo de la energía.

CASO DE ESTUDIO HOSPITAL KISIIZI, UGANDA

Antecedentes

El hospital Kisiizi fue fundado en 1958, está situado en el sudoeste de Uganda y brinda servicios a una gran área rural. A mediados de los ochentas se instaló un sistema hidroeléctrico de 60 kW. Usando una turbina Turgo, un generador sincrónico y un controlador electrónico de carga. Esto reemplazó a un sistema hidráulico más pequeño y es la única fuente de suministro eléctrico para el hospital.

Al mismo tiempo que provee de energía al hospital, el generador provee energía para las zonas residenciales de la gerencia, doctores, enfermeras y personal auxiliar. Desde un principio la energía se suministró gratuitamente como un beneficio que atrajera a la zona a un personal de calidad. A lo largo de los años el hospital y el personal han aumentado y a principios de los noventa la carga excedía la potencia generada en las horas pico, como consecuencia, el sistema de protección contra sobrecargas ponía fuera de servicio la turbina y el complejo hospitalario se quedaba sin energía. A veces el corte ocurría durante una operación poniendo en riesgo la vida del paciente.

Se hicieron varios intentos de controlar la demanda pico. Estos incluyeron la ins-

talación de interruptores (*timers*) en los calentadores de agua para que éstos funcionaran sólo en la noche y la confiscación en las residencias de cocinas eléctricas y otros aparatos de alto consumo de energía. Sin embargo, las mejoras han sido siempre temporales conforme ha seguido creciendo la demanda en el hospital y algunos de los miembros del personal han desobedecido las restricciones en el uso de electrodomésticos.

En el año 2001 la magnitud del problema de la sobrecarga era tal que se presentaban frecuentes apagones y lo más grave era la dificultad de restablecer nuevamente el servicio porque no se podía reducir la carga hasta un nivel aceptable y no producir apagones repetidos. Como consecuencia, se instaló un interruptor de aislamiento para que todo el suministro residencial pudiera desconectarse de ser necesario. Esta fue una drástica medida por su efecto sobre el personal y sus familias.

La gestión de la carga

Luego de conversar con la gerencia y el personal del hospital, se diseñó un nuevo paquete de gestión de carga para proporcionar lo siguiente:

- 1) Un suministro seguro para el hospital.
- 2) Abastecimiento seguro y limitado para las casas del personal para cargas esenciales, tales como luces y refrigeradoras.
- 3) Energía adicional para las casas del personal fuera de las horas pico de tal

modo que puedan usarse calentadores de agua y otros electrodomésticos cuando haya suficiente energía disponible.

El suministro seguro y limitado se hizo usando 83 limitadores de corriente tipo *PowerProvider* e instalando uno por cada casa. Los valores de corriente fueron de 1.0, 2.5 y 5.0 Amperios que corresponden a 230, 575 y 1150 VA. El valor ajustado de corriente se determinó de acuerdo a la antigüedad y a las necesidades particulares del personal. Si alguna vivienda trata de exceder el valor de corriente fijado en el *PowerProvider*, sólo se vera en la inconveniencia de una desconexión temporal y el suministro del hospital y las otras residencias no se verá afectado.

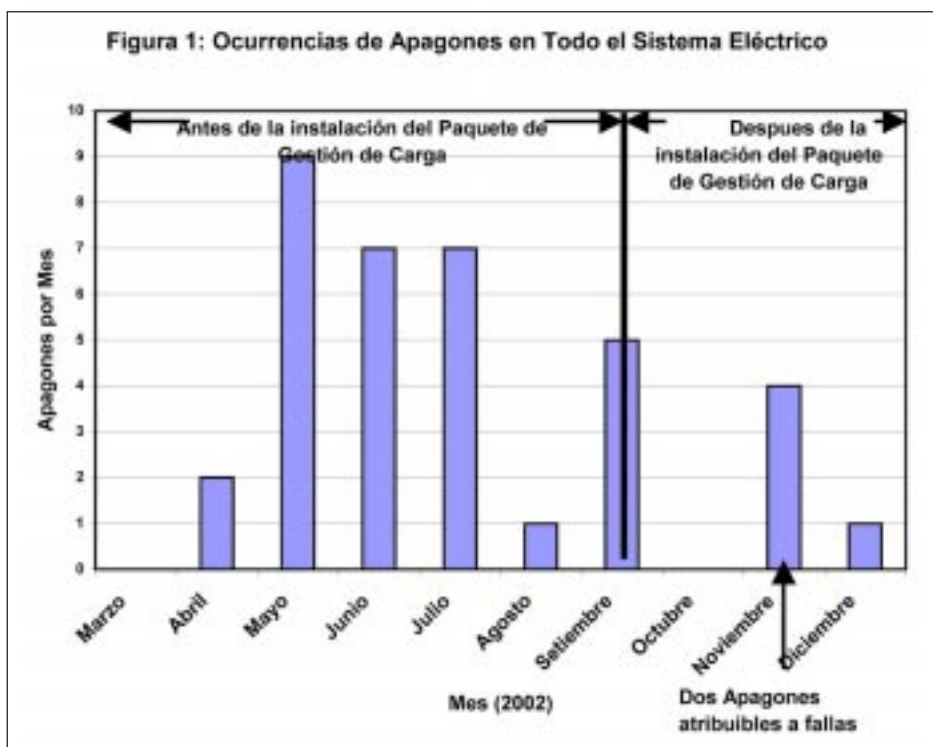
Los CICD's se usan para proveer energía extra a las casas del personal fuera de las horas pico. Se conectaron 40 CICD's en las casas del personal antiguo y edificios comunales tales como el alojamiento de las enfermeras. Un circuito eléctrico, aparte de los circuitos limitados por el *PowerProvider*, es suministrado por el CICD que provee un abastecimiento extra de más de 13 Amperios.

Algunos CICD's se han diseñado para reemplazar a los *timers* en los calentadores de agua y los otros se ajustaron con un enchufe estándar para que puedan usarse otros electrodomésticos de mayor potencia tales como cocinas, planchas y calentadores. Las frecuencias para interrupción de suministro se fijaron entre 47 y 49 Hertz para los CICD's de calentadores de agua y entre 46 y 47 Hertz para los otros CICD's. Como resultado todos los CICD's se conectan a una frecuencia de 50 Hertz. Cuando la carga del hospital aumenta hasta superar la capacidad del generador, la frecuencia baja y desconecta algunos o todos los CICD's de los calentadores de agua. Cuando se producen las cargas más altas en el hospital se desconectan algunos o todos los CICD's. Por tanto está asegurado el suministro de energía del hospital y los electrodomésticos tienen mayor prioridad respecto a los calentadores de agua.

Los *PowerProvider* y los CICD's se instalaron entre Septiembre y Diciembre del 2002. La información sobre el rendimiento del generador, antes y después de la colocación de aquellos dispositivos, se obtuvo con una computadora basada en el sistema del monitoreo que se instaló en Marzo del 2002.

Resultados a la fecha

La figura 1 muestra la cantidad de apagones en el sistema entre Marzo y Diciem-



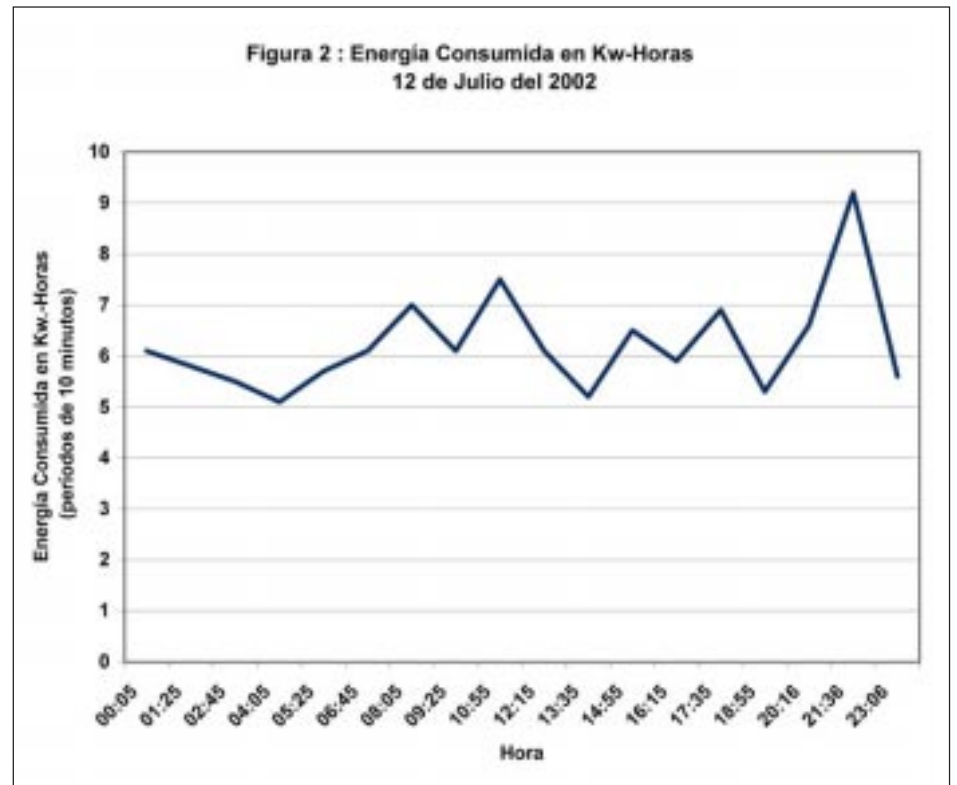


bre del 2002. Existe una clara reducción en el número de apagones, lo que indica que el paquete de gestión de la carga está produciendo un marcado beneficio. Algunos apagones del sistema se deben a bloqueos o problemas con la turbina-generador y no como resultado de sobrecargas; por tanto es posible que ninguno de los apagones en Noviembre o Diciembre se haya debido a sobrecarga.

Al mismo tiempo que se ha reducido la cantidad de apagones en el sistema, se ha notado un incremento en la cantidad de energía consumida en el hospital y las residencias, por tanto una reducción de la energía disipada en el balasto. Las figuras 2 y 3 muestran los resultados en un día típico previo a la instalación del paquete de gestión de carga y al final del período de instalación. Con todos los CICD's y los Proveedores de Energía instalados existe un incremento de más del 15 % de la energía consumida en el hospital y las residencias y poca o ninguna energía se disipa en el balasto entre las 7.30 a.m. y las 11.30 p.m.

Satisfacción del usuario

Hubo un período inicial de inquietud mientras la gente ingresaba a un proceso de aprendizaje y establecía la práctica de apagar cargas cuando no son requeridas y dejar libre el suministro controlado por un *PowerProvider*. Las viviendas que no tenían un *PowerProvider* de 5 Amperios o acceso a un enchufe CICD se quejaban de no poder planchar con su suministro eléctrico. Esto se ha superado con la dotación de más CICD's en áreas comunales y ofreciendo modificar el consumo de ener-



gía de las planchas existentes, para que puedan ser usadas con *PowerProvider* de 2.5 Amperios.

En general la retroalimentación ha sido positiva, con elogios por la mayor confiabilidad del suministro, tanto del hospital, como de las viviendas. También ha habido un aumento significativo en la cantidad de agua caliente disponible, la gente está contenta de poder usar de nuevo sus cocinas, calentadores y otros electrodomésticos anteriormente prohibidos.

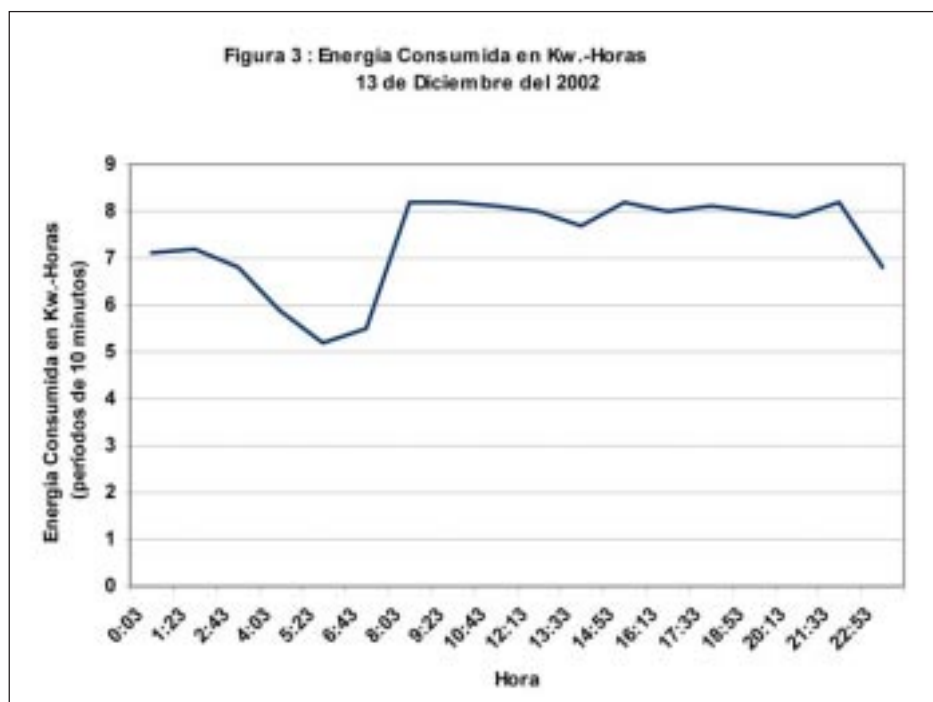
Conclusiones

Los CICD's y los Proveedores de Energía son tecnologías complementarias que, ahora de manera comprobada, mejoran la confiabilidad y uso productivo de energía en mini centrales hidroeléctricas. Pueden ser usados para resolver problemas de sobrecarga y de mal uso de energía en centrales ya existentes, con tal de que exista una buena gestión.

Sin embargo, es mejor si dichos dispositivos son instalados al inicio de proyectos hidroeléctricos de modo que las prácticas adecuadas se introducen desde el principio.

Bibliografía

- 1 Smail Khennas and Andrew Barnett, "Best practices for sustainable development of micro hydro power in developing countries", Report for DFID and the World Bank, Marzo 2000, www.itdg.org.uk
- 2 Zimbabwe Electricity Supply Authority Data, 1996
- 3 www.scs-www.com
- 4 www.mini-grid.com



Mayores informes:

Nigel Smith
n.smith@scs-www.com



Turbina axial: Bajas caídas, bajo mantenimiento, bajo costo

Teodoro Sánchez, Saúl Ramírez y Celso Dávila

Introducción

Una de las principales actividades del Programa de Energía, Infraestructura y Servicios Básicos de ITDG-AL, es el desarrollo y difusión de tecnologías apropiadas para la generación de electricidad en pequeñas potencias, en base a fuentes renovables de energía y en particular en el campo de las mini y micro turbinas hidráulicas; es así que desde el inicio de sus actividades a mediados de la década de los 80's hasta la fecha se ha logrado desarrollar y transferir diferentes modelos de turbinas.

Uno de los esfuerzos más recientes ha sido el desarrollo de un modelo de turbinas axiales de bajo costo y mínimo mantenimiento; se trata de una turbina del tipo hélice de álabes fijos, con un sistema simple de distribución para potencias entre 10 a 60 kW, el cual ha sido probado exitosamente. Este desarrollo fue posible gracias a un trabajo conjunto entre las oficinas de ITDG de Perú (Programa de Energía, Infraestructura y Servicios Básicos) y el Reino Unido, e ITC (brazo consultor de ITDG en UK).

La turbina axial de ITDG

La principal característica de las turbinas axiales es su capacidad para generar energía utilizando grandes caudales y pequeñas alturas, siendo ésta una alternativa de generación hidráulica en las zonas con geografía de montañas moderadas o inclusive bajas, o en grandes ríos de bajos gradientes. Existen diferentes diseños de turbinas axiales, especialmente en países industrializados, entre ellas la más popular y también la más utilizada, es la turbina de tipo Kaplan, y otras como las de tipo bulbo o las turbinas hélice, que vienen a ser una variante de las tipo Kaplan pero con álabes fijos.

La turbina diseñada por ITDG, y a la cual este artículo hace referencia, es una turbina de tipo axial de álabes fijos, diseñada para el rango de potencia de 10 a 60 kW, dependiendo de las condiciones de trabajo, caudal y altura.

1. Diseño conceptual

Entre los antecedentes al diseño se encontró que el trabajo en el tema de desa-

rollo y diseminación de turbinas axiales, en el campo de las tecnologías apropiadas y en especial de la cooperación internacional había sido limitado y generalmente con resultados poco alentadores. Ello llevó al equipo a una amplia discusión sobre las principales características y los parámetros de diseño de la turbina axial, puesto que por un lado se deseaba contar con una turbina robusta y confiable y por el otro lado, su costo debía ser bajo y además ser de simple operación y bajo costo de mantenimiento, es decir se debería diseñar una máquina de:

- * Bajo costo de fabricación, que permita ser una opción competitiva frente a otras tecnologías y por tanto que facilite el acceso a ésta por parte de las poblaciones rurales.
- * Fácil fabricación, debe ser posible poder fabricarla en pequeños talleres con las herramientas y equipos básicos.
- * Uso de materiales locales, es decir que se puedan conseguir fácilmente en el mercado local de países en desarrollo.
- * Fácil operación y bajo mantenimiento, es decir con partes de larga duración.

2. Diseño hidráulico

Siendo ésta una primera máquina desarrollada localmente, se consideró importante correr el mínimo riesgo sobre la posible presencia del fenómeno de cavitación, es por ello que se optó por diseñar una máquina «lenta entre las axiales» cuya velocidad específica es de:

$$410 (N_s = \frac{n \cdot P^{\frac{1}{2}}}{H^{\frac{5}{4}}}, \text{ donde } n \text{ es la velocidad en rpm, } P \text{ la potencia en kW y } H \text{ la altura en m.})$$

Las turbinas axiales son diseñadas con velocidades específicas en el rango de 400 a 1200.

Para simplificar los procesos de fabricación, se decidió diseñar una turbina de

álabes fijos con un sistema de distribución ajustable, lo que permite realizar pequeños ajustes en el ingreso de caudal de acuerdo a las condiciones del lugar. En el diseño de los álabes se utilizó la teoría de la sección del ala, de diferente cuerda a lo largo del radio, así mismo el diseño del tubo difusor se hizo procurando una salida laminar del flujo.

Para el diseño general «lay out» se hizo la revisión de una serie de propuestas sobre arreglos generales, elaborados por diversos autores y por las experiencias previas¹. En base a ello se hizo un análisis de los efectos de dichos arreglos sobre la confiabilidad de la máquina², cada vez que estos influían en el rendimiento de las partes. Es así que se eligió una turbina de eje en posición vertical, la cual nos permitió adecuar ambos rodamientos fuera de contacto con el agua.

3. El diseño mecánico

Para el diseño mecánico se tuvo en cuenta la robustez y resistencia de las diversas partes de la turbina, en especial de las partes en rotación y en contacto con el agua. Teóricamente con la misma máquina se puede generar entre 5kW y 60 kW de potencia, sin embargo en la práctica la selección de las piezas como el eje, los rodamientos y el espesor de la plancha para la carcasa, se pueden escoger para cada caso, a menos que se requiera de fabricaciones en serie, poco comunes en nuestro medio.

Todos los materiales de las partes, así como los accesorios se encuentran fácilmente en el mercado en forma comercial, entre ellos: el eje, los rodamientos, las planchas, etc.



Turbina axial desarrollada en 1995 por ITDG.

¹ ITDG inició el desarrollo de la turbina axial en 1995, proyecto que quedó trunco por falta de financiamiento, sin embargo se llegó a fabricar y ensayar un prototipo con resultados alentadores.

² Una de las causas más importantes de fallas reportadas de experiencias previas fue la fácil destrucción de uno de los soportes del eje de la turbina, principalmente debido al ingreso de agua a las empaquetaduras, a menos que fuera un rodamiento autolubricado (costoso).



4. Fabricación

Con respecto a la fabricación, uno de los temas más importantes fueron las consideraciones sobre simplicidad de fabricación y uso de materiales locales, con la finalidad de que se puede fabricar inclusive en pequeños talleres, utilizando herramientas básicas para el corte, rolado, soldadura y torneado.

El prototipo

La primera turbina axial construida en calidad de «turbina prototipo» fue instalada³ en Abril del 2000 en el Centro Poblado de Las Juntas⁴ (Perú), el cual viene funcionando ininterrumpidamente beneficiando, con el servicio eléctrico, en forma directa a 65 familias e indirectamente a más de 200 familias de comunidades vecinas y del distrito.

1. Especificaciones técnicas de la micro-central hidráulica de Las Juntas

- Potencia mecánica en el eje: 27 kW
- Altura de diseño: 7 m
- Caudal de diseño: 0.524 m³/s
- Diámetro nominal del rodete: 400 mm
- Velocidad de giro: 900 r.p.m.
- Eficiencia de la turbina en el punto de diseño: ~ 75%
- Máxima eficiencia de la turbina: ~ 85%
- Número de álabes: 04

2. Principales componentes de la turbina y sus características

a) Rodete

Consta de 4 álabes diseñados con perfiles aerodinámicos, siendo el proceso de fabricación por fundición en una sola pieza, aunque es posible la fundición por separado (cubo y álabes) para luego ser unidos por soldadura. Los álabes están compuestos por 7 secciones con un ángulo cero definido como: $\beta = 14.815$ grados.

El material especificado para la fabricación es el acero inoxidable, sin embargo en aquellos lugares o talleres donde no haya acceso a fundición de este tipo se puede optar por otro tipo de material.

b) Álabes directrices

El modelo cuenta con 24 álabes directrices ajustables de acuerdo a los requerimientos de funcionamiento y 6 álabes fijos que permiten mejorar el alineamiento del flujo de agua y contribuir al buen rendimiento de la



Turbina axial, distribuidor - carcasa.

máquina. Son fabricados por fundición, en acero inoxidable y luego son ensamblados en una corona cilíndrica.

c) Distribuidor

Se comporta como la carcasa de la turbina, tiene forma de espiral con un ingreso circular para su acoplamiento a la tubería de presión. Esta compuesto por secciones circulares, elípticas y de transición.

Se fabrica en planchas de acero de 4 mm de espesor, cortadas, roladas y soldadas a tope. El distribuidor/carcasa va soldado sólidamente en un poste estructural metálico, que sirve como soporte y elemento de anclaje a la cimentación.

d) Tubo difusor

Esta diseñado considerando la mínima perturbación posible del flujo de salida, ya que parte de la altura útil se encuentra en el tubo difusor, similar a la carcasa, ésta es construida en 8 secciones utilizando planchas de acero de 4 mm de espesor, roladas y soldadas a tope.

Es del tipo acodado con el ingreso en sección circular (466 mm de diámetro), una salida de sección rectangular con ángulos redondeados (1,085 x 690 mm) y una longitud de 1,496 mm.

e) Eje

El eje está dispuesto en posición vertical, fabricado en acero especial (34 CrNi-

Mo) para esfuerzos de flexión y rotación. Está soportado en dos rodamientos de rodillos a rótula que se encuentran fuera de la carcasa, evitando el contacto con el agua.

El rodamiento inferior está sobre la carcasa y el superior está alojado en la estructura en voladizo, que va apoyado en la parte lateral de la estructura de la turbina.



Montaje del eje.

³ Con el financiamiento de Thrasher Foundation (USA) y Network for Social Change (UK).

⁴ Las Juntas pertenece al distrito de Pomahuaca, provincia de Jaén, departamento de Cajamarca. Geográficamente esta entre los 05° 55' 45" Latitud Sur y 79° 13' 30 " Longitud Oeste, a 1,100 m.s.n.m.



3. Características de los otros componentes de la MCH

a) Generador eléctrico

El generador utilizado es del tipo síncrono, autoexcitado y autorregulado, trifásico de 1800 rpm de velocidad nominal de giro (380/220 V, 60 Hz), de fabricación inglesa. Se trata de una máquina robusta, preparada especialmente para su trabajo con la turbina, a través de un sistema de transmisión flexible de poleas y fajas.

b) Regulación

La regulación del voltaje se realiza a través de un Regulador Electrónico de Carga, el cual utiliza una carga balasto formado por un conjunto de resistencias, enfriadas por agua, que permite recibir el exceso de carga, permitiendo un suministro de energía de calidad. La regulación se hace mediante el uso de un regulador electrónico de frecuencia, el cual utiliza un balastro formado por un conjunto de resistencias que permite recibir el exceso de carga. De este modo se logra un suministro de energía de calidad con voltaje y frecuencia estables en sus condiciones nominales.

c) Obras civiles

Está compuesto por una bocatoma de barraje móvil, canal de conducción de 550 m de longitud y capacidad de conducción de 0.6 m³/s, completamente revestido en concreto, desarenador y cámara de carga.

La tubería de presión está fabricada en planchas de acero de 1/4" de espesor y 24" de diámetro, tiene un salto de 7 m y una longitud de 9 m.

d) Redes de transmisión

Debido a la distancia de la central a los usuarios y la dispersión de las viviendas fue necesario la utilización de red primaria en media tensión, 22 kV (de acuerdo a las normas nacionales), la misma que cuenta con los elementos necesarios de seguridad.

La red eléctrica de baja tensión es de 220 V, 60 Hz, tiene conexiones domiciliarias independientes y medidores individuales para cada conexión

e) Propiedad y administración

La propiedad de la MCH ha sido transferida a la Comunidad de Las Juntas. La gestión y administración del servicio eléctrico es a través de una pequeña empresa privada local, organizada y capacitada por



Equipo técnico en mediciones de campo.

ITDG para la operación, mantenimiento y administración. Esta empresa privada mantiene un contrato de concesión con la comunidad y contratos individuales con todos los usuarios.

Pruebas y comportamiento del prototipo

1. Pruebas iniciales (rendimiento de la turbina)

Entre Marzo y Mayo del 2000, previo a su instalación y puesta en marcha definitiva, un equipo técnico del Programa de Energía de ITDG con la participación de especialistas de UK realizaron las pruebas de funcionamiento de la turbina.

Aunque no ha sido posible una rigurosa evaluación de este prototipo, principalmente por las grandes dificultades que una máquina de este tamaño demanda, se ha podido elaborar el siguiente cuadro basado en los trabajos de campo, el mismo que debe tomarse como referencia, toda vez que estos ensayos han sido preli-

minares y realizados principalmente con el objetivo de conocer su funcionalidad, que con el de obtener un resultado preciso de su rendimiento. Aun así, son resultados que bien pueden servir para hacer estimaciones sobre su rendimiento en futuras aplicaciones.

El modelo trabaja convenientemente, sin mayores variaciones, en diferentes condiciones de trabajo como se muestra en el cuadro 1. Para pequeñas potencias, el principal inconveniente será el costo-beneficio, puesto que se trata de una máquina relativamente grande, mientras que para potencias superiores a las que se indican en el cuadro, se hace necesario revisar el diseño, en especial la resistencia de algunos componentes como: rodamientos, eje, transmisión, álabes y otros.

2. Evaluación después de 25,000 horas de funcionamiento

En Marzo del 2003, un equipo técnico de ITDG realizó un mantenimiento general del equipo para revisar y evaluar el

Cuadro 1: Rango de aplicación de la turbina axial de ITDG			
H (m)	N (r.p.m.)	Q (m ³ /s)	Pm (kW)
4	680	0.396	11.7
5	761	0.443	16.3
6	833	0.485	21.4
7	900	0.524	27.0
8	962	0.560	33.0
9	1021	0.594	39.4
10	1076	0.626	46.1
11	1128	0.657	53.2
12	1178	0.686	60.6



Evaluación de la turbina después de 25,000 horas de funcionamiento.

«desgaste» del rotor debido a los efectos de la cavitación y fricción por las partículas en suspensión. Asimismo, con la finalidad de realizar el primer cambio de fajas, revisar el estado de los sellos y otros.

Durante la verificación del rodete se pudo observar que la superficie externa de los álabes (zona de mayor presión) se encuentra en condiciones óptimas, no mostrando alteración alguna en la superficie. En la parte interna del álabes (zona de menor presión) se notan algunas pequeñas porosidades no mayores a 0,3 mm de diámetro, como se puede ver en la foto de esta página.

Por otro lado en la punta del rodete se presenta una pequeña capa de óxido que podría ser porque en esa zona no hay mayor contacto con el agua o por la calidad de la fundición.

En general se puede decir que después de más de 25,000 horas de funcionamiento y un mantenimiento general en un periodo de 3 años, la turbina (rodete) se encuentra en condiciones óptimas de trabajo.

Conclusiones sobre el diseño y funcionamiento

* Con referencia al rendimiento, los valores obtenidos mediante ensayos de campo, nos permiten estimaciones de una máxima eficiencia combinada mecánica e hidráulicamente entre 78% a 80%. El tiempo de prueba de esta máquina de 3 años de funcionamiento, sin ningún daño o falla hidráulica o mecánica prueba que hubo un acertado diseño de la máquina en su conjunto. La turbina axial de Las Juntas no ha presentado vibraciones u otro de tipo de

efectos mecánicos que amenacen la larga vida esperada.

- * Después de más de 25,000 horas de funcionamiento (cerca de 3 años), la turbina y sus principales componentes se encuentran en condiciones óptimas de trabajo.
- * Después de 25,000 horas de funcionamiento se ha podido comprobar que el rodete no presenta mayores desgastes y/o daños debido a la cavitación y erosión de partículas en suspensión. La fuente que suministra de agua a la MCH es un típico río de selva baja que arrastra partículas en suspensión, especialmente en época de lluvias.
- * Se estima que el costo de esta máquina fabricada en Perú mediante metodología de fabricación indicada, cuesta entre 1/4 y 1/3 del costo de una máquina equivalente importada de Europa o cualquier otro país desarrollado. La ventaja adicional de utilizar la tecnología local, es la existencia de repuestos y servicios técnicos para futuras reparaciones.
- * Es una alternativa de bajo costo y bajo mantenimiento. Una revisión general cada tres años con reemplazo de algunos componentes (fajas, resistencias y sellos) por un total de US\$ 600, lo hace una alternativa viable para la electrificación rural.
- * Actualmente la central de Las Juntas viene funcionando sin ningún problema, contribuyendo al desarrollo de la comunidad, donde después de 3 años la población ha incrementado su potencial productivo con la inclusión y creación de nuevos negocios como: piladoras de arroz, cargado de baterías, taller de soldadura, restaurantes, molino de granos y otros.

- * ITDG cuenta con un paquete tecnológico completo para la turbina axial descrita, consistente en lo siguiente: planos de fabricación, moldes y modelos, guía de fabricación y guía de montaje. La tecnología ha sido transferida a dos pequeños talleres en Perú y Brasil.

Bibliografía

- * Informes y reportes del proyecto «Low head, low maintenance», Programa de Energía, Infraestructura y Servicios Básicos de ITDG, Perú, 1998 - 2000.
- * Low head turbine - Hidraulic design, ITC-UK, Julio 1998.
- * Proyecto Bajas Caídas - Diseño Mecánico, Programa de Energía, Infraestructura y Servicios Básicos de ITDG, Perú, 1999.
- * Planos y Recomendaciones sobre Sellos, Ciro Robles, HIDROSTAL, Perú, 1999.
- * Pruebas de funcionamiento, ITDG, Perú, Marzo, 2000.
- * Informe final de proyecto «Widening the application of micro hydro technology in the Amazon region», Programa de Energía, Infraestructura y Servicios Básicos ITDG, Perú, Junio 2001.
- * Informe de mantenimiento general MCH Las Juntas, Programa de Energía, Infraestructura y Servicios Básicos ITDG, Perú, Marzo 2003.

Mayores informes:

Programa de Energía, Infraestructura y Servicios Básicos ITDG, Perú
Av. Jorge Chávez 275, Lima 18 - Perú
Tel. (511) 447 5127, Fax (511) 446 66??
E-mail energia@itdg.org.pe

PEQUEÑOS MOLINOS DE VIENTO

EDITORIAL

La presente edición de *Pequeños Molinos de Viento* está dedicada al nuevo aerogenerador de ITDG, desarrollado en Perú y Sri Lanka. El sistema está diseñado para bajos vientos y su económico costo lo convierte en una opción atractiva para productores interesados.

En Holanda se contempla la opción de pequeños molinos de viento interconectados a la red eléctrica, con el fin de aprovechar energías renovables de las zonas urbanas, una idea innovado-

ra que aún conlleva una serie de implicaciones técnicas. Asimismo, Kragten Design (Holanda) diseña aerogeneradores para uso en países en vías de desarrollo y recientemente ha modificado algunos modelos existentes para el bombeo de agua.

Para las comunidades remotas de Sudán, el suministro de agua con la fuerza del viento es una opción valiosa en un país flagelado por la guerra y el hambre, según expuso Abdeen Mustafa Omer recientemente; aquí les presentamos las

conclusiones de un artículo de su autoría.

Hector Jover representa al continente asiático poniéndonos al tanto de su nueva aerobomba en Filipinas, también de bajo costo. Esperemos que próximamente nos informe acerca de las ventas de sistemas en su región.

¡Espero disfruten esta edición y nos escriban cuando tengan alguna novedad!

Remi Rijs
Jan de Jongh

Mejorando el acceso a la energía con Pequeños Sistemas de Aerogeneración

En septiembre del 2002 el Programa de Energía de ITDG-Perú instaló una pequeña máquina eólica en la comunidad de Ahijadero, provincia de Hualgayoc en Cajamarca, en la zona norte andina. Esta máquina corresponde a una tercera instalación piloto de este modelo de aerogenerador que ITDG viene promoviendo como culminación de un proyecto de investigación y desarrollo tecnológico. El objetivo principal del monitoreo es conocer mejor el desempeño técnico de la máquina, por un lado, así como la aceptación y utilidad que pueda alcanzar en las comunidades, por el otro.



Foto: Comuneros de Ahijadero antes de la instalación del aerogenerador

El aerogenerador, de 100 W de potencia, fue concebido para el uso específico de cargado de baterías en el ámbito familiar. Se trata de una máquina pequeña, con la capacidad de cubrir la demanda mínima de familias de pobladores rurales, con una capacidad de generación de aproximadamente entre

600Wh/día a 1000Wh/día, dependiendo de los recursos eólicos de cada zona. Es una máquina de bajo costo y una alta confiabilidad.

La comunidad de Ahijadero está situada cerca a Bambamarca, la capital de la Provincia de Hualgayoc en Cajamarca, es una comunidad pobre y aislada, cuya economía se basa en la agricultura y ganadería de subsistencia. Las principales fuentes de energía para el alumbrado son el kerosene y las velas. La instalación se ha hecho con la participación de las rondas campesinas, quienes están apoyando en el monitoreo de esta máquina, con el fin de comprobar los beneficios de la misma y considerar su promoción entre sus miembros.

Mayores informes:
Programa de Energía de ITDG-Perú
Av. Jorge Chávez 275
Miraflores, Lima 18, Perú
Correo electrónico: energia@itdg.org.pe

Características	
potencia eléctrica	100 W
turbina eólica	tripala (álabes de fibra de vidrio y resina)
generador	de imanes permanentes de baja velocidad

Kragten Design en Holanda

Al concluir su colaboración con CWD Holanda en 1989, el ingeniero Adrian Kragten fundó su propia empresa de diseño, Kragten Design. Las actividades son el diseño de pequeños aerogeneradores de imanes permanentes, servicios de consultoría y edición de publicaciones sobre pequeños molinos de viento, incluyendo aerobombas. Los molinos, bautizados "Virya" (que significa viento en sánscrito), varían de 1.2 m a 5.0 m de diámetro y se distinguen por el generador de imanes permanentes, la ausencia de una caja de transmisión y la cola de orientación inclinada. Están diseñados para vientos moderados, sea para la car-

ga de baterías o para el bombeo de agua a través de una bomba eléctrica sumergible.

Kragten no es productor, sino que orienta su trabajo a la elaboración del diseño y el monitoreo de los modelos en condiciones de campo. Anteriormente un fabricante interesado, así como individuales, podía comprar los planos detallados, pero en la actualidad Kragten maneja un sistema de licencias por región.

Los aerogeneradores de Kragten están dirigidos a países en vías de desarrollo pero generalmente requerirán la importación de varios componentes. La nueva serie "D", incluyendo la Virya-1.8D y

Virya-3D cuenta con algunas modificaciones para facilitar la producción local en países del Sur, aplicándose en el caso del modelo 1.8D acero normal en vez de inoxidable siempre y cuando sea permisible.

El modelo pequeño está dirigido a la carga de baterías (12/24 V) mientras el Virya-3D opera una bomba sumergible de corriente continua Solaflex.

Información:
Kragten Design
Populierenlaan 51
5492 SG Sint-Oedenrode, Países Bajos
Tlf./Fax: +31-(0)413-475 770
E-mail: kragtendesign@xs4all.nl

Avances de Aerobombeo en Sudán

(reseña de un artículo original: *Wind Energy Development in Sudan*, Abdeen Mustafa Omer, contribución a la Conferencia Europea de Energía Eólica EWEC 2002, París, Francia)

En Sudán, la utilización de molinos de viento para el bombeo de agua sigue siendo considerada una opción atractiva en áreas remotas. Sudán es el país más grande de África con una población aproximada de 30 millones de habitantes, de los cuales la mayoría vive en comunidades dispersas.

En los años cincuenta se introdujeron las primeras aerobombas en el país, cuando unas 250 unidades fueron integradas al proyecto de riego El Gezira con apoyo del gobierno de Australia. Estas aerobombas están fuera de uso ahora. En los últimos 15 años, el Instituto de Investigaciones Energéticas (ERI) instaló unas 15 aerobombas holandesas CWD 5000 en la región de Khartoum. Actualmente ERI intenta introducir 60 unidades más con financiamiento del Banco Rural de Sudán (SAB) pero hasta la fecha no se ha podido concretar.

El trabajo de CWD en los ochentas ha llevado a diseños relativamente confiables para las condiciones del país, pero su aplicación se limita a profundidades de bombeo bajas y medianas. Por ello, ERI ha producido algunos modelos CWD 5000 modificados, puestos a prueba en el campo de ensayos "Soba". En seguida, cuatro unidades fueron instaladas en Karima (2) y Toker (2). Un análisis económico revela un costo unitario de agua comparable con el de una bomba diesel (US\$ 0.22, respectivamente US\$ 0.32). Sin embargo, la alta inversión inicial de una aerobomba la pone fuera del alcance de la mayoría de los usuarios. Por lo tanto, los sistemas deberían ser disseminados dentro de programas de desarrollo comunitario, aprovechando mecanismos de cobro y de mantenimiento apropiados.

De las 26 aerobombas funcionando en el país, 5 son de producción nacional: National Company for Manufacturing Water Equipment Ltd (3), Sahara Engineering Company (1), y la Universidad Wadi el Neil -Atbara (1). La producción local es considerada como un aspecto indispensable para bajar costos y lograr una exitosa disseminación de aerobombas en el Sudán.

Mayores informes:

Abdeen Mustafa Omer

National Company for Manufacturing

Water Equipment Ltd (NCMWE)

P.O. Bos, 15007

Khartoum 12217, Sudán

Molinos Urbanos en Holanda

Desde hace unos años, un esfuerzo significativo de la investigación en energía eólica en Holanda va dirigido al desarrollo de molinos de viento para uso en áreas habitadas. Ejemplos son la instalación en parques y avenidas y la integración en edificios y viviendas nuevos. A la fecha existen seis modelos de aerogeneradores, todos destinados a ser interconectados con la red. De estos, algunos son producidos en pequeñas series, mientras otros sólo existen como prototipo. Sin excepción alguna, los fabricantes esperan ventas futuras masivas, que hasta ahora no se han materializado. Los molinos urbanos bajo desarrollo se pueden clasificar como:

1. convencionales, o de eje horizontal (Fortis, Prowin, Lagerwey)
2. verticales, tipo Darrieus o Savonius (Ecofys, Turby)
3. tipo Darrieus, pero montados horizontalmente (Windwall)

Para la aplicación de molinos de viento en zonas urbanas, los ingenieros deben enfrentar nuevos retos tecnológicos, como garantizar una seguridad absoluta para los vecinos, la eliminación casi total de ruido y vibraciones, y una generación satisfactoria en condiciones de bajo viento. En cuanto a la capacidad por unidad y el desempeño general, estos molinos no pueden

competir con los parques eólicos modernos que vienen instalándose en Europa.

Sin embargo, los molinos urbanos pueden considerarse como otro elemento dentro del proceso continuo de inventar e implementar métodos de eficiencia energética y energías renovables en la construcción de vivienda nueva, edificios utilitarios, obras de infraestructura y proyectos de revitalización urbana. Para promover las nuevas tecnologías, el Estado aplica el método de la "zanahoria y el garrote", es decir, por un lado apoya el desarrollo y la implementación, por otro lado castiga el consumo excesivo.

A través de subsidios sobre la inversión, por ejemplo en el marco del abatimiento de gases invernaderos, e incentivos fiscales para empresas y particulares, el Estado pretende reducir los costos para el usuario final y mejorar la aceptación. Por otro lado, el Estado revisa con cierta regularidad las normas de uso de energía y decreta nuevos límites cuando lo considera oportuno.

Las compañías eléctricas operan como enlace con los usuarios domésticos al encargarse de la promoción de las nuevas tecnologías y el reembolso de ciertos subsidios hacia ellos.

Un indicador cuantitativo importante para la construcción de viviendas nuevas es el *desempeño energético global*, que es calculado conforme a un procedimiento validado y oficial. Su valor no

Héctor Jover nos informó...

Hector Jover, productor de aerobombas y sistemas de carga de baterías en Filipinas, nos envió algunos detalles acerca de su nueva aerobomba:

"Así es como se ve la nueva aerobomba. El rotor se construyó a base del material del viejo modelo de 12 aspas y como transmisión, utilizamos un diferencial de carro con ejes de entrada y salida modificados. La aerobomba cuenta con una cola de protección inclinada y un dispositivo de guía del vástago. Con un rotor de 1.5 metros, el precio aquí en las Filipinas estará alrededor de USD 340.00."

Mayor información:

Héctor Jover

Email: jover@skynet.net



Foto. Aerobomba instalada en el taller de Héctor Jover.

PEQUEÑOS MOLINOS DE VIENTO

debe exceder un máximo establecido por el Estado, la EPN (Energie-Prestatiennorm o *Norma de Desempeño Energético*). El cálculo de la norma toma en cuenta - entre otras cosas - el tamaño y tipo de la casa y el supuesto número de habitantes.

Al exigir dicha norma como pre-requisito para el otorgamiento de permisos de construcción, el Estado dispone de un poderoso instrumento para promover la incorporación de tecnologías eficientes en la vivienda. En la industria, el Estado logra un control semejante al exigir el cumplimiento con las normas ambientales; por lo que queda claro que el Estado determina normas cada vez más restrictivas.

En el trascurso del tiempo, la vivienda promedio en Holanda ha visto aparecer las ventanas de doble vidrio y los muros termo-aislantes; la llegada de calefacciones de rendimiento alto o mejorado; sistemas de calefacción de baja temperatura; calentadores solares que complementan las calderas de agua caliente eléctricas o de gas; lámparas ahorradoras; y más recientemente, la introducción de paneles solares en los techos.

La idea es siempre, darle el suficiente tiempo al mercado para encontrar productos o métodos de implementación innovadores y que puedan costearse, antes de - indirectamente - exigir que sean implementados. Así, se intenta evitar la introducción de tecnologías que no son maduras o económicamente no viables.

La existencia de la norma de desempeño energético constituye un reto primordial para los arquitectos y contratistas, que cada vez más se ven obligados a evaluar sus diseños desde un punto de vista integral, incluyendo los métodos usados durante la construcción.

Como resultado se ha conseguido ahorros importantes en la mano de obra, componentes y material. Un ejemplo es el uso de paneles solares como elemento de cons-

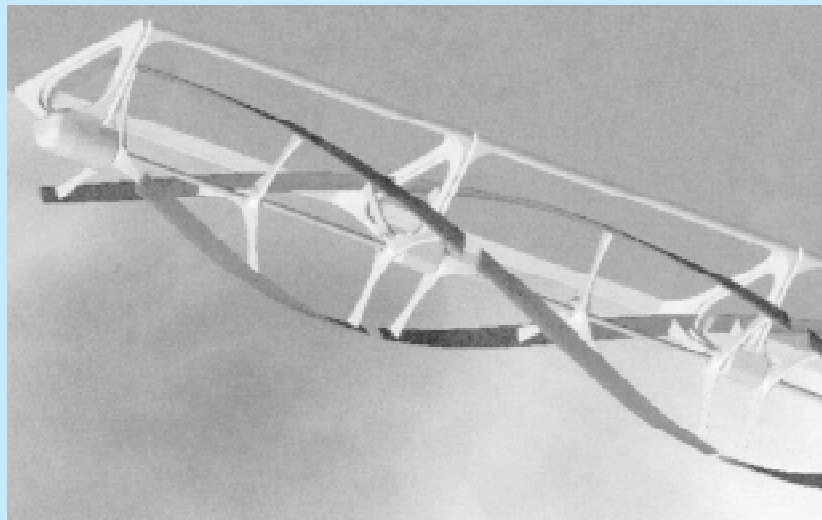


Foto. Impresión artística del Windwall.

trucción, en vez de ser considerado como artefacto ajeno montado sobre un techo convencional.

Al parecer los molinos urbanos, al menos aquellos destinados a ser colocados en edificios, representan el paso siguiente en este esquema.

Además de resolver una serie de complicaciones tecnológicas, tendrán que producir energía a un costo comparable con el de un panel solar. Potencialmente, un sistema eólico genera más energía por superficie que un panel solar, pero en un entorno urbano los vientos son bajos y variables.

Como se observa en la tabla, existe mucha incertidumbre en cuanto a la producción de energía. La otra ventaja del sistema eólico, la posibilidad de reducir el costo de inversión específico (US\$/kW) al diseñar unidades más grandes, difícilmente puede ser explotada por las restricciones del medio urbano. Por lo cual, en su lugar se considerarían unidades modulares, cuyo costo irá creciendo proporcionalmente con la capacidad. Por otro lado, la opción

donde el panel solar puede ser aprovechado como elemento activo en la construcción, es mucho menos factible en el caso de un sistema eólico.

Los proveedores aún no proporcionan precios exactos para los consumidores interesados, pero estos oscilarían entre US\$ 8,000,- para el Provane hasta US\$ 28,000,- para el Windwall. De alguna manera, esta inversión deberá compararse con la de un sistema solar fotovoltaico interconectado. La producción de energía será decisiva para la rentabilidad y se tendrá que esperar los primeros resultados bajo condiciones representativas. Mientras tanto, en la mayoría de los países en vías de desarrollo existen opciones menos costosas para el mejoramiento de la infraestructura energética.

Mayor información:
Remi Rijs
info@eologica.com

Fabricante	Modelo	Tamaño [m]	Potencia [kW]	Pot. esp. [W/m ²]	Prod. estim. [kWh/año]	Prod. esp. [kWh/m ² /año]
Ecofys	NEOGA	3.0	2.0	370	800 - 2700	150 - 500
Fortis	Montana	5.0	4.0	204	3000 - 9800	155 - 500
Lagerwey	Tulipo	5.0	2.5	127	3000 - 9800	155 - 500
Prowin	Provane 5	5.0	2.0	102	3000 - 9800	155 - 500
Turby	Turby	2.0/2.65	2.5	472	800 - 2700	150 - 510
Windwall	WW1200/14,4	1.2/14.4	4.0	231	1600 - 5200	110 - 360

El diseño del aerogenerador de ITDG

Con objeto de diseñar un pequeño aerogenerador de bajo costo para la carga de baterías, ITDG gestionó un proyecto internacional bajo un contrato con DFID (Departamento de Cooperación Internacional del Gobierno) del Reino Unido (contrato R 7105). El proyecto fue coordinado por el Dr. Smail Khenas, especialista de energía de ITDG, con apoyo de Simón Dunnett. El trabajo de campo en Perú y en Sri Lanka fue gestionado por Teodoro Sánchez y Rohan Senerath, los dos respaldados por Sunith Fernando. El escocés Hugg Piggott colaboró en el diseño del generador de imanes permanentes.

Los manuales fueron finalizados en el curso del 2001 y están disponibles (en inglés) en la página web de ITDG-Perú (www.itdg.org.pe).

El diseño global del aerogenerador se caracteriza por su cola de orientación como se muestra en la siguiente figura.

Los documentos describen en mayor detalle (1) el diseño y la producción del generador eléctrico de imanes permanentes y (2) la construcción de las aspas. Los otros componentes, como la torre y la cola de orientación, no están descritos en los manuales.

La versión peruana del rotor es diferente de la de Sri Lanka, sin embargo ambos generan la suficiente fuerza para cargar una batería de 12 volts en bajos y medianos vientos. El material preferible para las aspas es fibra de vidrio, aunque también podrían ser fabricadas de madera. La tabla abajo sintetiza las características de ambos rotores, que han sido probados en los respectivos países. El generador eléctrico "peruano" cuenta con imanes más gruesos y fuertes mientras que la interconexión del embobinado es diferente.

Los manuales abordan ampliamente los métodos de producción, la fabricación de los moldes y el control de la calidad de los productos finales. Como tales, están dirigi-

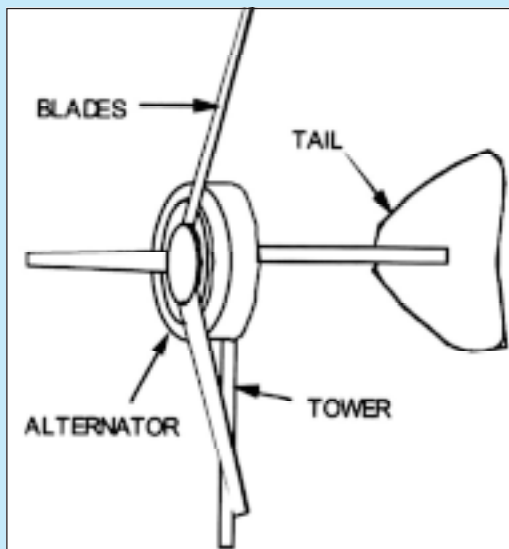


Figura. El diseño del aerogenerador de ITDG con sus principales componentes.

dos básicamente a los potenciales fabricantes en vez de aquellos interesados en los cálculos de diseño. Para mayor ayuda al productor, el texto ofrece posibles alternativas de construcción y de materiales. Los materiales para la construcción – incluyendo el generador – son relativamente básicos y podrían ser conseguidos sin mayores dificultades en la mayoría de los países en desarrollo. Específicamente se ha evitado el uso de imanes exóticos en el generador, sustituyéndolos por piezas convencionales.

La elaboración de los moldes es un trabajo tedioso que requiere ciertas cualidades artesanales, el acceso a un taller con torno, experiencia con resinas de poliéster y métodos de control de calidad en fases intermedias y al final de la producción. La facilidad de producción del aerogenerador dependerá en gran medida de la calidad y el acabado de los moldes. Asimismo, un conocimiento básico de electricidad es indispensable para poder comprobar el funcionamiento y la conexión correcta del devanado del generador.

No obstante, con una buena organización del trabajo, la construcción del aerogenerador de ITDG no debe de constituir mayores dificultades y por lo tanto, representa una valiosa opción para aquellos interesados en su producción en países en vías de desarrollo.

Informes:
Ing. Teodoro Sánchez
Campos
Email:
energia@itdg.org.pe

Tabla. Resumen de las diferencias principales entre ambos modelos de rotor		
País de origen	Perú	Sri Lanka
Perfil aerodinámico	NACA 4412	K2
Díámetro del rotor	1.7 m	2.0 m
Velocidad relativa de la pala (l)	5	6
Número de álabes	3	2

Investigación bomba de mecate

En la Universidad de Eindhoven, Holanda, un grupo de estudiantes de la Facultad de Ingeniería Mecánica propone investigar el concepto y la construcción de la bomba de mecate. Aunque la bomba ya se ha mostrado muy exitosa en varios países centroamericanos contando también con una aplicación como aerobomba, existen todavía detalles y componentes que no han sido estudiados a fondo.

Así se desconoce la influencia de la forma de los pistones sobre la eficiencia volumétrica. Y la restringida libertad de orientarse al viento,



es una limitante reconocida de la aerobomba de mecate que provoca la búsqueda de mecanismos de transmisión alternativos. La investigación sería llevada a cabo por los estudiantes como trabajo práctico en el tercer año de su carrera. En la Facultad hay varios grupos de investigación dedicados a sistemas de energías renovables y tecnologías propicias para el desarrollo sustentable. En la página web www.ropump.org se encuentra más información disponible sobre la bomba de mecate.

Informes:
Remi Rijs - editor
info@eologica.com

Pequeños Molinos de Viento

Pequeños Molinos de Viento, co-redactado por Arrakis y Eológica, Holanda, aparece como la continuación del proyecto *Small Scale Wind Energy Systems*, financiado por el Ministerio de Relaciones Exteriores de los Países Bajos (NEDA-DML/KM). Desde 1999 viene publicado en inglés y en español. La edición en español es publicada como inserto de la revista "HIDRORED" de ITDG-Perú (www.itdg.org.pe)

Coordinación

Arrakis, De Olieslager 7, 5506 ER Veldhoven, Países Bajos;
tel.: +31(40)281 9454;
fax: +31(40)281 9602;
info@arrakis.nl; www.arrakis.nl

Redacción y artículos
info@eologica.com

El contenido de *Pequeños Molinos de Viento* puede ser reproducido siempre y cuando sea citada la fuente. Para cualquier información, artículos o suscripciones, favor de contactar la redacción.



Turbina hidrocínética para poblaciones aisladas

Rudi Henri van Els, Clovis de Oliveira, Antonio Manoel Dias y Luis F. Balduino

Resumen

El presente artículo está dedicado a la turbina hidrocínética, la misma que es una turbina de flujo libre diseñada para generar electricidad, usando solamente la energía cinética de la corriente de agua en los ríos.

Este propulsor tipo turbina fue instalado en Brasil para suministrar energía eléctrica a una pequeña posta médica. Primero, el artículo hará mención de los esfuerzos hechos por investigadores en Brasil con la energía hidrocínética en las últimas dos décadas y el desarrollo actual alcanzado.

A continuación se presenta el marco teórico para el uso de la energía hidrocínética con las condiciones límite para el mejor aprovechamiento de los ríos junto con las diferentes configuraciones experimentadas para transformar la energía cinética en potencia mecánica.

Se muestran y discuten detalles del diseño de la turbina, incluyendo la forma del estator, el propulsor, la transmisión mecánica y el sistema de control electrónico.

La tecnología desarrollada probó ser resistente y adecuada a las extremadamente severas condiciones de las comunidades aisladas, pues ha estado funcionando ininterrumpidamente en los últimos siete años.

Este tipo de pequeña planta hidrocínética típicamente puede suministrar más de 2 kW de potencia eléctrica, siendo una alternativa confiable para la electrificación de casas, comunidades o usuarios finales.

Introducción

El uso de la energía cinética de los ríos puede ser considerado una de las principales formas inventadas por el hombre para transformar las fuerzas naturales en trabajo mecánico.

El flujo de los ríos se empleó siempre en la navegación y la rueda hidráulica es uno de los mecanismos más sofisticados de los tiempos antiguos. Actualmente es común encontrar bombas de agua sumergidas, accionadas con el empleo de la rueda hidráulica.

La tecnología convencional para generar electricidad a partir de la hidroenergía se realiza con el empleo de turbinas hidráulicas en donde el agua es canalizada a través de diques y tuberías para poder usar la energía potencial.

El uso de la energía cinética es considerado como una alternativa o forma no convencional para generar electricidad, que emplea una fuente renovable de energía.

Esta tecnología es un avance en relación con los impactos ambientales debido a que no es necesario almacenar energía potencial en lagos artificiales con el uso de diques de agua y, consecuentemente, no se necesita interferir con el curso natural de los ríos.

La mayoría de los principios de esta clase de turbina son derivados de las turbinas de viento porque su operación es similar.

Repaso bibliográfico

La potencia que puede ser extraída de la energía cinética obedece la siguiente ley:

$$P = \frac{1}{2} \cdot kb \cdot A \cdot r \cdot v^3$$

donde:

A = área en metros cuadrados (m²)

r = densidad de agua (1000 kg/m³)

v = velocidad del agua en m/s

kb = coeficiente de Betz = 16/27 = 0,592

Esta ley fue deducida en 1926 por Albert Betz para calcular la energía cinética del viento, demostrando que sólo el 59 por ciento de la energía puede ser extraída de la energía total del viento para producir trabajo mecánico con una turbina. Esta condición ocurre sólo cuando la velocidad del flujo que deja la turbina es un tercio de la velocidad que ingresa a la turbina.

Las turbinas hidrocínéticas pueden ser clasificadas en dos tipos. El primero es el eje vertical con su eje de rotación perpendicular al flujo de agua. El segundo es la turbina axial con su eje de rotación en la dirección del flujo.

Zulcy (1999) hace referencia a las turbinas hidrocínéticas para la generación de energía eléctrica que él denominó "central hidráulica de baja caída con turbina hidráulica hidrocínética". En este artículo Zulcy analiza las características de las turbinas de eje vertical y axial, y demuestra que la potencia por unidad es típicamente mas de 2 kW para velocidades del agua de 0.6 hasta 1.5 m/s.

Las turbinas de eje vertical son preferidas cuando es necesario tomar ventaja de la energía cinética del flujo que puede tener su dirección cambiada, como por ejemplo en los sistemas de marea. Estas turbinas están diseñadas de modo que la dirección de rotación es siempre la misma, independientemente de la dirección del flujo.

Una de las primeras patentes de este tipo de turbinas fue suscrita por Georges Darrieus en 1931 (DARRIEUS, 1931). El inventó una turbina con el eje de



Figura 1: Prototipo de turbina axial, FINATEC.



rotación transversal al flujo de la corriente y las hélices con una sección de perfil aerodinámico, análogo a la de las alas de los pájaros.

El concepto de la turbina desarrollada por Darrieus sufrió algunas modificaciones, para sacar provecho de las corrientes. En 1995 este concepto fue optimizado por Alexandre Gorlov (GORLOV, 1991) quien montó las hélices en forma helicoidal obteniendo de este modo uniformidad en su funcionamiento.

Existen pocas referencias en la literatura brasileña acerca del uso de energía cinética para generar electricidad. Uno de los primeros artículos es un reporte de un prototipo de turbina del tipo eje horizontal diseñado por el Instituto Nacional de Investigación Amazónica (INPA), llamado "cata-agua" (HARWOOD, 1985).

En este artículo Harwood describió un propulsor multihélice tipo turbina de 4 metros de diámetro que es anclado en el río para generar electricidad. Este equipo fue experimentado en los ríos de la región amazónica con velocidades del agua de 0,7 hasta 1,5 m/s y probó ser funcional.

Sin embargo en este proyecto no hubo protección contra residuos flotantes, muy comunes en estos ríos, limitando su operación sólo a lo experimental. Los mecanismos de transmisión mecánica usados en este sistema se hicieron con cadenas e introdujeron pérdidas significativas, aparte del hecho de no ser suficientemente robustos para soportar un régimen de trabajo intenso (24 horas al día).

El Centro de Investigación de Energía Eléctrica – CEPEL, (NASCIMENTO, 1999) hizo mención también de la Energía hidrocínética, por medio de una rueda hidráulica adaptada para

generar energía eléctrica y una turbina tipo axial.

El primer equipo, construido en asociación con un fabricante nacional de ruedas hidráulicas y la Universidad Federal de Río de Janeiro – COPPE, tiene ruedas de 3 metros de ancho y 2 metros de diámetro. Fue montado sobre flotadores y tenía que generar 3,5 kW con una velocidad de 1,5 m/s.

El equipo fue puesto en operación en el río Pirapó en el Estado de Paraná y "con la colocación de la carga, se observó una reducción acentuada en la rotación de las ruedas hidráulicas, bloqueando su funcionamiento".

La segunda experiencia realizada por CEPEL se hizo con un prototipo de una turbina axial en escala reducida (5/1) con un propulsor de doble hélice. Con este prototipo se hicieron mediciones para evaluar la influencia de una boquilla convergente en la entrada del propulsor. Estas mediciones no brindaron resultados significativos en la variación de la velocidad del agua ni en la variación de potencia generada como función del uso de la boquilla.

La primera experiencia exitosa con energía hidrocínética en Brasil fue desarrollada por investigadores del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Brasilia con fondos de la Fundación para empresas Tecnológicas y Científicas – FINATEC. Desde 1991, un grupo de investigadores ha estado experimentando con diversos prototipos de turbinas verticales y axiales como se muestra en la figura 1.

Estas experiencias produjeron un subsidio significativo para el diseño de una turbina hidrocínética que fue puesta en operación en 1996 y está funcionando hasta ahora atendiendo una posta médica en el interior del Estado de Bahía.

La turbina axial hidrocínética

Este proyecto tiene algunas características innovadoras que fueron fundamentales para mejorar la transformación de energía hidráulica en trabajo mecánico. A diferencia de los proyectos presentados por Zulcy, Harwood y Nascimento, la máquina tiene un estator en la entrada del propulsor que dirige el flujo de agua en la turbina, de tal modo que aumenta el ángulo de ataque de las hélices del propulsor, optimizando la transformación de la energía hidráulica.

Otra innovación es el uso de un tubo de succión a la salida de la turbina y el uso de conos en el centro de la turbina para minimizar la generación de turbulencia en la corriente de agua. La influencia del tubo de succión en el rendimiento de la turbina fue evaluada empíricamente en el campo y se notó que había un significativo incremento en el desempeño general de la turbina con el tubo de succión.

Es importante enfatizar que todos los experimentos se hicieron en el campo, en las condiciones más extremas de funcionamiento y carga nominal y sin los instrumentos ideales para monitorear todas las variables del proceso. Se evaluaron e instalaron dos modelos de turbina como se muestra en la figura 3.

El rotor del propulsor está compuesto por varias hélices. Se hicieron experimentos, fabricando las hélices con tiras metálicas y también con estructura metálica envuelta en fibra de vidrio. El número de hélices, el área transversal y su coeficiente de solidez depende del flujo del río.

Los mejores resultados para esta turbina se obtuvieron en el río con una velocidad de 2 m/s y un propulsor de ochenta centímetros de diámetro y seis hélices con un coeficiente de solidez del 50%.

El sistema de transmisión mecánica está implementado con un juego de engranajes sumergidos en aceite y una plataforma de correas de transmisión. La turbina mueve un generador eléctrico de 2 kVA, 220 voltios de corriente alterna a 1800 r.p.m., generando 1kW de electricidad y haciendo posible usar un refrigerador, una congeladora, una bomba de agua e iluminación.

Para controlar el voltaje generado por la turbina que en este caso tiende a variar con la velocidad del agua y la carga acoplada en su rejilla, se diseñó

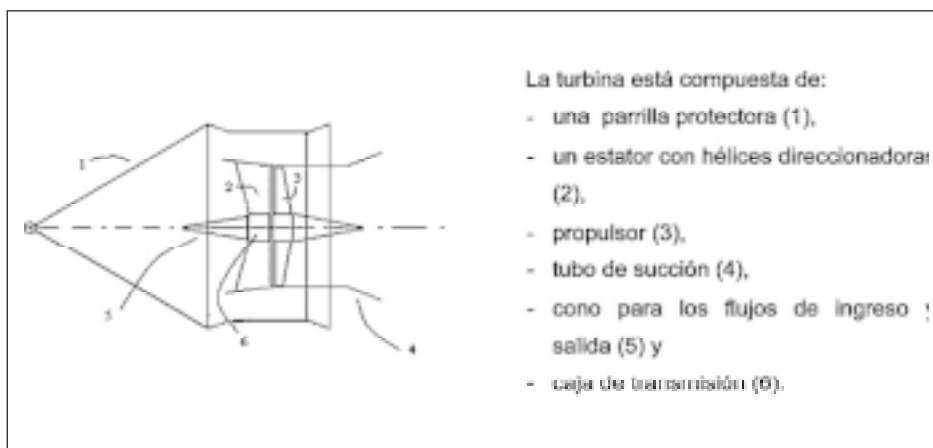


Figura 2: Partes de la turbina axial hidrocínética.



Figura 3: Modelos instalados para los experimentos de campo.

un sistema de control electrónico. El sistema de control mantiene constante la carga eléctrica de la red, estabilizando el voltaje.

Este sistema de protección contra sobrevoltaje basado en una resistencia manejado por un tiristor, hace posible el accionamiento de equipo electrónico doméstico sin problemas con el voltaje.

Conclusiones

Las turbinas hidrocinéticas presentadas en este artículo están funcionando, produciendo energía eléctrica estable en 220 voltios de corriente alterna permitiendo el uso de equipo doméstico normal.

La tecnología desarrollada demostró ser resistente y adecuada para las condiciones extremadamente severas de pueblos aislados, pues ha estado funcionando ininterrumpidamente en los últimos siete años.

Este tipo de pequeña planta hidrocinética puede suministrar típicamente hasta 2 kW de potencia eléctrica dependiendo de las características del río, siendo una alternativa confiable para la electrificación de casas, comunidades o usuarios finales de zonas remotas.

Reconocimiento

El desarrollo extenso de esta investigación ha sido financiado por el FNDCT / CT – ENERG / FINEP DEL Ministerio de Ciencia y Tecnología del Gobierno Federal de Brasil.

Bibliografía

- * ELS, Rudi Henri van, CAMPOS, C., BALDUÍNO L. Turbina hidrocinética. Controlware – UnB, Brasília, 2001.
- * HARWOOD, John H. Protótipo de Un "cata-água" que genera 1 kW de po-

tencia. ACTA Amazônica, 15 (3-4): 403-412. 1985

- * NASCIMENTO, Marcos V. G. e outros. Opções à geração dieselétrica para sistemas isolados na região norte: eólica, hidrocinética e biomassa. IV Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica – SNTPEE, Foz de Iguaçu, Paraná, 1999.
- * REIS Lineu Belico dos, SILVEIRA, Saida (orgs.). Energia elétrica para o desenvolvimento sustentável. São Paulo. Ed. Universidade de São Paulo, 2000.
- * SOUZA, Zulcy de. PCH de baixa queda, Grupo de Trabalho sobre hidromecánica. 5a. reunião, IMFIA. Montevideo, Uruguay, 1999.
- * GORLOV, Alexander. Helicoidal turbine assembly operable under multidirectional gas and water flow for power and propulsion systems. US Patent 6,155,892 Northeastern University, 2000
- * DARRIEUX, Georges J. M. Turbine having its rotating shaft transverse to the flow of the current. US Patent number 1,835,018 filed in 1931
- * Proof of Betz's Law – <http://www.windpower.dk/stat/betzpro.htm>
- * Energy Technology Factsheet. UNEP Division of Technology, Industry and Economics
- * Energy and Ozon action unit – <http://www.unptie.org.energy>

Mayores informes:
Departamento de Ingeniería
Mecánica de la Universidad de
Brasilia,
Brasilia
cw@cdt.unb.br

Fundación de Empresas Científicas
y Tecnológicas – FINATEC,
Brasilia
Rudi Henri Van Els
rudivels@uol.com.br



Figura 4: Algunos propulsores evaluados.



DISTRIBUCIÓN
GRATUITA

X ELPAH reunió especialistas en Brasil

Más de 250 personas participaron del 4 al 8 de mayo en el X Encuentro Latinoamericano y del Caribe sobre Pequeños Aprovechamientos Hidroenergéticos – X ELPAH, realizado en el Complejo Turístico Palace-Casino de Pocos de Caldas.

El encuentro fue organizado por el Centro de Referencias en Pequeñas Centrales Hidroeléctricas – CERPCH, asociación tecnológica que funciona en la Universidad Federal de Itajubá en amplia coordinación con Hidrored. Se contó con la participación de varios especialistas de Perú, Chile, Argentina, UK, Cuba, Surinam, Canadá, Ecuador y otros países, quienes presentaron diversos trabajos de investigación y aplicación, que han sido publicadas en las memorias del evento.

Se destaca el vasto intercambio de información conseguido durante el X ELPAH, que abordó, entre otros temas, el desarrollo del mercado para las pequeñas centrales hidroeléctricas.



El evento fue matizado con la premiación de tres interesantes artículos, cuyos autores recibieron el premio USAID-Winrock; además se desarrolló una simpática exposición donde importantes firmas estuvieron presentes a través de sus stands, mencionando entre ellas a Alstom, Voith Siemens, Eletrobrás y otras.

Debemos agregar que el Comité Editorial de HIDRORED, luego de evaluar las solicitudes de postulación, aceptó la propuesta de la Comisión Nacional de Energía de Chile para la organización

del XI ELPAH en el 2005, por lo que desde ya les invitamos a tomar parte en este evento y les deseamos a los organizadores los mayores éxitos.



IMPRESSUM

HIDRORED es una revista internacional para la divulgación de información sobre técnicas y experiencias en microhidroenergía.

HIDRORED es publicada dos veces al año por el Programa de Energía, Infraestructura y Servicios Básicos de ITDG-Perú.

Comité Editorial

Teodoro Sánchez, ITDG-Perú
Walter Canedo, CINER-Bolivia
Carlos Bonifetti, MTF-Chile
Mauricio Gnecco, FDTA-Colombia

Corresponsales

Argentina (Misiones):
Jorge Senn, Orlando Audisio
Bolivia (Cochabamba):
Walter Canedo
Colombia (Villavicencio):
Mauricio Gnecco
Ecuador (Quito):
Milton Balseca
Honduras (Comayagüela):
Jorge F. Rivera
Perú (Lima):
Teodoro Sánchez

Editores

Programa de Energía, Infraestructura y Servicios Básicos de ITDG-Perú.

Av. Jorge Chávez 275, Lima 18 - Perú
Telf. (511) 447-5127
4467-324 444-7055
Fax (511) 446-6621
E-mail: energia@itdg.org.pe
www.itdg.org.pe

Coordinación

Saúl Ramírez

Producción

Lourdes Chuquiipondo

Diagramación

José Rodríguez

El comité editorial no se responsabiliza por el contenido de los artículos

ITDG
SOLUCIONES PRÁCTICAS
PARA LA POBREZA

ITDG es un organismo de cooperación técnica internacional que contribuye al desarrollo sostenible de poblaciones de menores recursos mediante la investigación, aplicación y difusión de tecnologías apropiadas.

En el mundo, ITDG tiene oficinas en ocho países de África, Asia, Europa y América Latina.

En el Perú, trabaja a través de sus programas de Energía, Infraestructura y Servicios Básicos; Sistemas de Producción y Acceso a Mercados; Prevención de Desastres y Nuevas Tecnologías.