

HIDRORED

RED LATINOAMERICANA DE MICRO HIDROENERGÍA

ISSN 0935 - 0578

2/2002

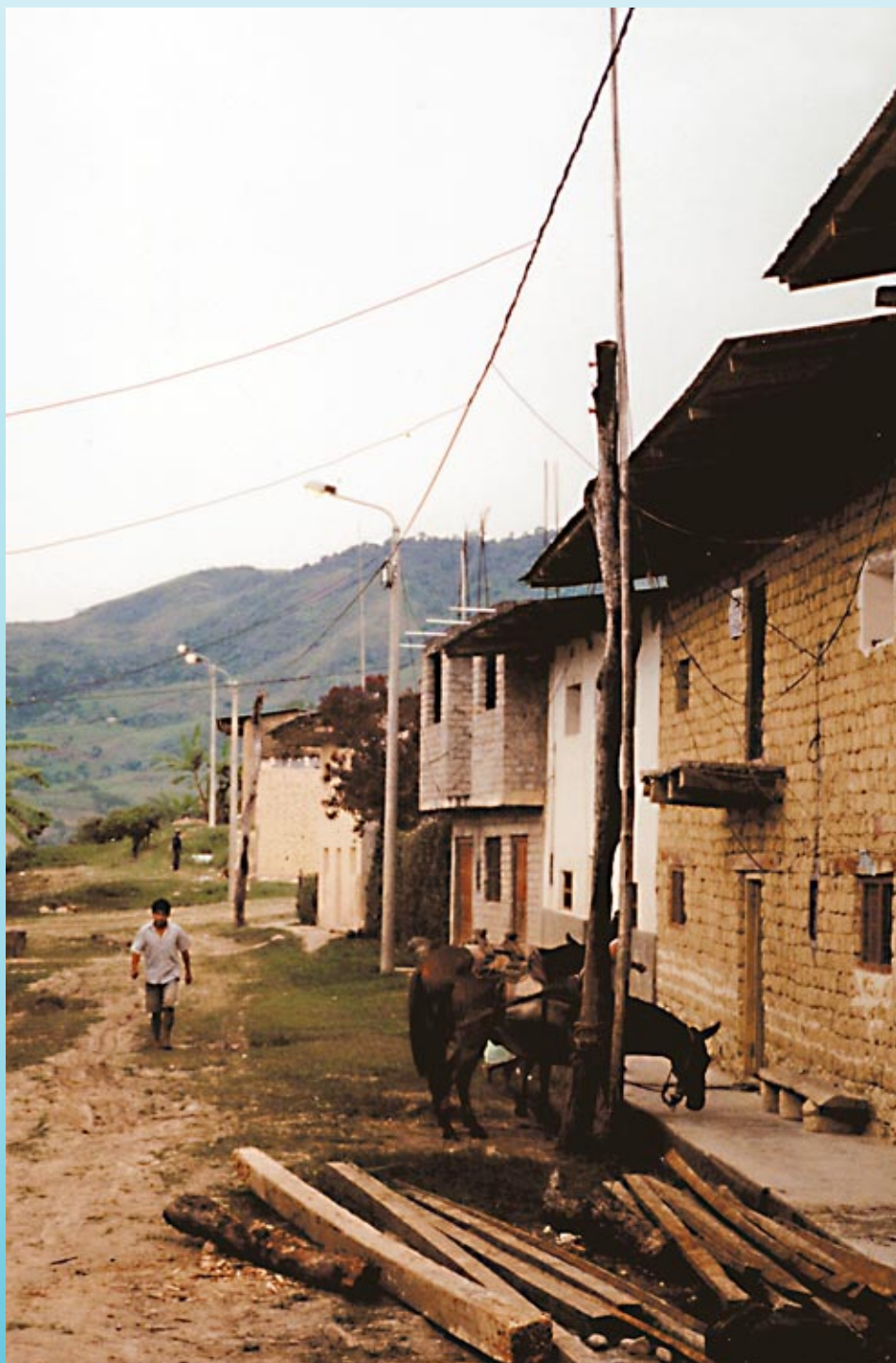


Foto Archivo Programa de Energía, ITDG.

Estimados lectores:

Nos volvemos a encontrar a través de las páginas de **HIDRORED**; escenario que nos ha servido para intercambiar diversas experiencias en el campo de la micro hidroenergía; y precisamente para proseguir con esta sana y productiva costumbre, hemos incluido en este número un artículo sobre Turbinas de Río: Una Alternativa Energética para la Amazonía, el mismo que hace referencia a la tecnología desarrollada por el investigador británico Peter Garman junto a ITDG, promocionando la utilización de la fuerza de la corriente de los ríos a través de la llamada Turbina Garman.

Y como de las experiencias se aprende, hemos considerado conveniente compartir con ustedes el desarrollo de las actividades durante la puesta en funcionamiento de la MCH Pallaco en Chile, cuyo nombre fue tomado del de la comunidad indígena donde se levanta.

Debido a la extrema condición de aislamiento y lejanía a la red eléctrica convencional, era imposible dotarla de energía por lo que, como resultado de diversas evaluaciones, se pudo determinar que el recurso hídrico se constituía en una fuente potencial de energía renovable.

Finalmente, esperamos que disfruten de la información proporcionada sobre el regulador de frecuencia inteligente para micro centrales hidráulicas, que no es sino un dispositivo electrónico microcontrolado destinado a regular la frecuencia por absorción de carga; sistema de bajo costo y mantenimiento, de alta confiabilidad y además, de gran versatilidad.

HIDRORED los invita a seguir intercambiando experiencias, por lo que esperamos seguir contando con sus gentiles contribuciones, y como no, con su amable preferencia.

El Comité Editorial



Regulador de frecuencia inteligente para microcentrales hidráulicas

José Mare, Leonardo Odello

RESUMEN

El presente artículo describe un dispositivo electrónico microcontrolado destinado a regular la frecuencia por absorción de carga en microcentrales hidráulicas. El regulador de frecuencia electrónico basa su funcionamiento en el microcontrolador 68HC11 de Motorola, el cual mide la frecuencia de línea y adecúa el valor de la carga secundaria (resistencias) para mantener la frecuencia constante. Es posible programar diferentes parámetros del regulador en función del comportamiento global del sistema generador e incorporar dispositivos auxiliares (indicadores, instrumentos de medición, alarmas). Las principales ventajas de este sistema de regulación son su bajo costo y mantenimiento, alta confiabilidad y gran versatilidad.

INTRODUCCIÓN

Un microaprovechamiento es la forma más adecuada tecnológicamente para producir energía eléctrica en áreas aisladas donde se hallen recursos hidráulicos disponibles. Sus ventajas más importantes son:

- El impacto ambiental es mínimo.
- Poseen muy bajos costos de operación.
- Tienen un buen retorno de las inversiones.
- Han sido experimentados y ensayados por décadas.
- No existe la necesidad de transporte y uso de combustibles fósiles.
- Proveen oportunidades para la industria local.

En el marco donde resulta atractiva la implementación de microcentrales, el costo de capital es una limitación severa y la confiabilidad, mantenimiento y simplicidad de operación son de extrema importancia. El costo de capital de la instalación debe mantenerse en un nivel tal que el costo final de la energía sea comparable (y preferentemente menor) que las alternativas más inmediatas, que normalmente serían la extensión de la línea o un generador diesel.

El regulador de frecuencia es un componente básico de cualquier sistema de generación de energía eléctrica por lo que sus características (costo, confiabilidad, mantenimiento, simplicidad) deben amol-

darse a las del sistema generador en su conjunto.

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

La regulación de la Central Generadora es fundamental en un Sistema de Potencia para asegurar la continuidad del servicio y la calidad de los parámetros fundamentales, frecuencia y tensión. Lo anterior adquiere relevancia al tratarse de generadores hidráulicos ubicados en pequeños flujos de agua o microcentrales, donde se manifiestan variaciones de caudal y de carga importantes que hacen necesaria la regulación de los parámetros mencionados mediante sistemas de bajo costo, rápida respuesta y gran confiabilidad.

Se distinguen dos tipos de regulación para turbinas hidráulicas:

- a) Regulación de velocidad a caudal variable. En este tipo de regulación, la potencia generada está definida exclusivamente por el consumo, esto es:

$$\text{Potencia Generada} = \text{Potencia Consumida} \quad (1)$$

Este tipo de regulación se utiliza tanto en grandes como en pequeñas máquinas, y consiste en adecuar la potencia generada a la potencia consumida variando el flujo de agua que ingresa a la turbina.

- b) Regulación a caudal constante. Este tipo de regulación se realiza manteniendo el caudal constante y modificando el valor de carga secundaria necesaria para que la potencia que ésta disipa, junto con la potencia consumida, sea igual a la potencia generada.

$$\text{Potencia Generada} = \text{Potencia Consumida} + \text{Potencia disipada en la Carga Secundaria} \quad (2)$$

Este principio se aplica a máquinas pequeñas, donde la potencia generada (potencia nominal de la máquina o definida por el caudal disponible) mantiene su relación con la carga según la expresión anterior. Es decir, un aumento de la potencia consumida por la carga primaria se traduce en una disminución de la potencia disipada por la carga secundaria y viceversa.

Los métodos más difundidos para realizar este tipo de regulación son:

- Absorción de carga mediante resistencias eléctricas.
- Absorción de carga por freno de Foucault.

El regulador de frecuencia que se describe a continuación se basa en el principio de absorción de carga mediante resistencias eléctricas.

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

La variación de velocidad del generador se manifiesta en la frecuencia de la onda de tensión a través de la conocida relación:

$$n = 60 \cdot \frac{f}{p} \quad (3)$$

donde n = vueltas [r.p.m]
 f = frecuencia [Hz]
 p = pares de polos

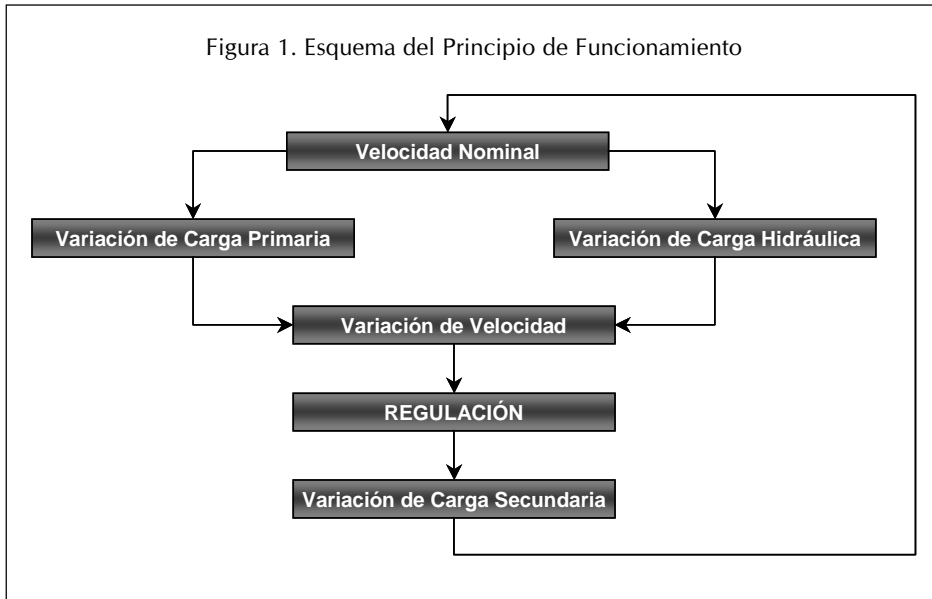
El regulador de frecuencia tratado aquí es un dispositivo electrónico que controla la velocidad de la turbina sobre la base de la siguiente premisa:

«La variación de velocidad de la turbina es compensada por la conexión o desconexión de carga secundaria (resistencias eléctricas) en forma de control integral por pasos relacionados con la variación de velocidad».

En la Figura 1 se ilustra de manera simple el principio de funcionamiento del regulador de frecuencia a caudal constante. Como puede apreciarse, cualquier modificación en la carga primaria o en la carga hidráulica se traduce en una variación de la velocidad de la máquina. Es aquí donde actúa el sistema regulador, conectando carga secundaria si la frecuencia se encuentra debajo del límite inferior establecido (por ejemplo 49.5 Hz), o disminuyendo el valor de ésta si la frecuencia excedió el límite superior programado (por ejemplo 50.5 Hz). Si el valor de la frecuencia se encuentra dentro del rango mencionado, no se modifica la cantidad de carga secundaria conectada al sistema. Todas estas acciones tienen como objetivo



Figura 1. Esquema del Principio de Funcionamiento



mantener la velocidad de la máquina en su valor nominal y corregir las posibles variaciones en la frecuencia de la línea.

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El Hardware

El dispositivo está compuesto principalmente por los siguientes elementos:

- Microcontrolador
- Placa de Potencia y Señal
- Interfaz de Visualización y Control
- Dispositivos Auxiliares
- Cargas Secundarias (Resistencias)

El esquema que se presenta a continuación ilustra la forma en que se hallan conectadas las distintas partes del sistema.

El Microcontrolador

El microcontrolador es el componente más importante de todo el dispositivo regulador. Su función primordial es la de medir en forma permanente la frecuencia de la tensión generada y administrar las cargas secundarias de manera tal que es posible mantener la frecuencia dentro de un rango preestablecido.

El microcontrolador utilizado es el MC68HC711E9, cuyas características principales son:

- Microcontrolador de 8 bits.
- Tecnología HCMOS (CMOS de Alta Densidad).
- Memoria RAM, EEPROM y EPROM.
- Watchdog Timer.
- Conversor A/D.
- Bajo Costo.
- Bajo Consumo.

Placa de Potencia y Señal

Una plaqueta de circuito impreso aloja un único circuito en el que se distinguen tres partes:

- Alimentación. Se adecúa la tensión generada para proveer de tensión continua a todos los componentes del regulador.
- Señal. Un circuito detector de cruce por cero genera un tren de pulsos angostos de frecuencia doble que la frecuencia de la señal que se intenta medir. Estos pulsos tienen una amplitud de 5V e ingresan al microcontrolador para que éste determine el valor de la frecuencia de la señal original.
- Potencia. Cuando el algoritmo implementado en el microcontrolador considera necesario conectar o desconectar carga secundaria para mantener la frecuencia dentro de los límites requeridos, coloca en una o varias salidas un nivel de tensión alto (5V) o bajo (0V) para cumplir con este propósito. La placa posee tantas entradas (para el control de potencia) como resistencias de carga secundaria se estén utilizando. Un nivel de tensión alto en una de estas entradas dispara, a través de un circuito optoacoplado, un interruptor estático (Triac) que conecta la carga deseada. Los optoacopladores (optotriac's) aíslan eléctricamente los circuitos de control y potencia y, además, están provistos de llaves de cruce por cero para evitar la aparición de radio frecuencias en la línea.

Interfaz de Visualización y Control

La interfaz de usuario del regulador de frecuencia está integrada por un indicador intermitente de funcionamiento, cuatro indicadores luminosos de alarmas, tres teclas multifunción y un display inteligente de cristal líquido (LCD).

La gran capacidad de presentar información que posee el display inteligente permite simplificar el diseño y la operación de esta interfaz, la cual posee sólo tres pulsadores multifunción para llevar a cabo la programación de diversos parámetros y la selección de la información a ser visualizada.

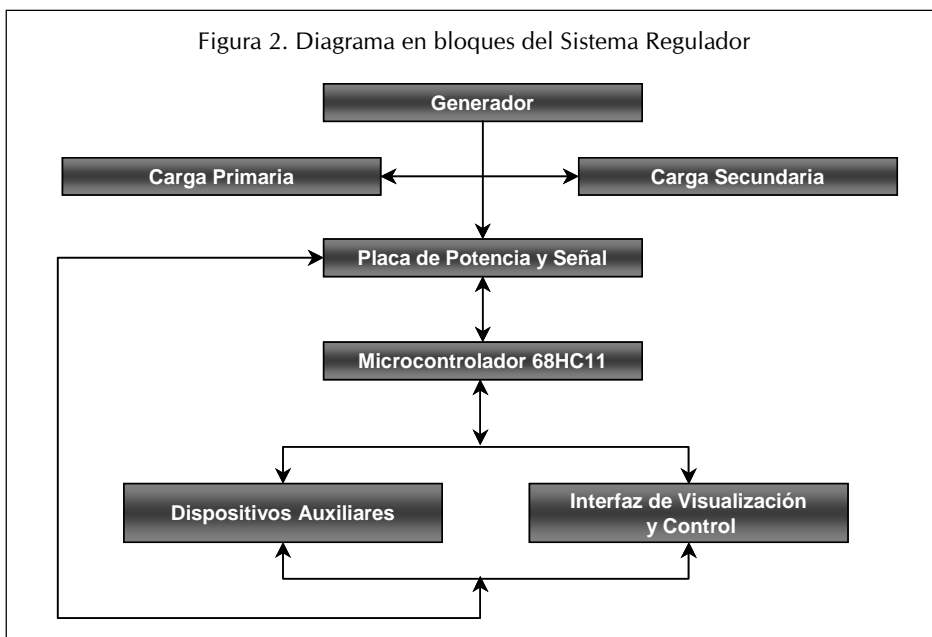
Dispositivos Auxiliares

Los dispositivos auxiliares que el regulador de frecuencia permite incorporar son: indicadores luminosos o señales audibles (alarmas), instrumentos de medición del tipo 4-20 mA o 0-5 V (tensión, velocidad, temperatura, niveles de líquido, etc.).

Carga Secundaria

La carga secundaria está integrada por un banco de resistencias diseñada

Figura 2. Diagrama en bloques del Sistema Regulador





das individualmente para disipar un valor distinto de potencia (en aire o agua). La potencia disipada por cada resistencia es tal que, cuando se conectan todas ellas, se disipa una potencia cercana a la potencia nominal del sistema generador. Las distintas combinaciones de resistencias conforman los pasos posibles de potencia secundaria a conectar o desconectar. Para una potencia nominal de 2 kW y un número de 16 pasos, por ejemplo, se utiliza un banco de 4 resistencias (125, 250, 500 y 1000 W), las cuales sumadas totalizan 1875 W.

El Software

El software es un conjunto de instrucciones que conforman la lógica necesaria para llevar a cabo todas las funciones del dispositivo regulador. El microcontrolador se programa utilizando el Lenguaje Assembler propio del mismo, conformado por alrededor de 90 instrucciones diferentes. El software que gobierna el regulador consta de aproximadamente 1000 líneas (2 kB).

El programa está integrado por un bloque principal donde se chequean las entradas del microcontrolador y se invocan diferentes subrutinas en función de los valores que éstas asumen.

Las subrutinas más importantes son:

- Determinación del valor de frecuencia de la onda de tensión generada.
- Corrección de carga secundaria.
- Modificación de parámetros del sistema.
- Diagnóstico del sistema.
- Lectura de Entradas Analógicas.
- Comunicación con PC a través de interfaz RS-232

Además del bloque de programa principal y las subrutinas, se emplea la función TOI (Timer Overflow Interrupt) del microcontrolador. Esta función interrumpe periódicamente la ejecución normal del programa para llevar a cabo un conjunto de instrucciones, entre las que se encuentra la lectura de las entradas analógicas.

Síntesis del Bloque Principal del Programa

Las operaciones que realiza el regulador de frecuencia son esencialmente tres:

1. Detección de pulsos. La detección de pulsos se realiza mediante la función Input Capture del microcontrolador. Esta función setea un bit cada vez que se detecta el flanco de un pulso (ascendente, descendente o ambos, según se configuren los registros de la función) en una de las entradas del mi-

crocontrolador. La presencia de pulsos se advierte leyendo el contenido de ese bit.

2. Determinación de la frecuencia de los pulsos. Con el temporizador de carrera libre (free-running counter) se mide el periodo entre los flancos ascendentes de los pulsos generados por el detector de cruce por cero. El periodo, calculado como la diferencia entre las dos lecturas del contador del temporizador, queda expresado en números de ciclos de máquina del microcontrolador y luego se realiza una conversión a frecuencia [Hz].
3. Corrección de la carga secundaria en función de la frecuencia determinada. La frecuencia medida se compara con una frecuencia de referencia, presentándose tres posibles casos:
 - a) Frecuencia de Línea < Frecuencia de Referencia Mínima: se disminuye la cantidad de carga secundaria conectada para acelerar la máquina.
 - b) Frecuencia de Línea > Frecuencia de Referencia Máxima: se aumenta la cantidad de carga secundaria para disminuir la velocidad de la máquina.
 - c) Si la Frecuencia de Línea se encuentra entre los valores de Frecuencia de Referencia Máximo y Mínimo, la carga secundaria no se modifica.

A estas tres funciones básicas se agregan otras asociadas a la operación de la interfaz de usuario, tales como el manejo de los pulsadores y el display de cristal líquido. Además, se realiza la comunicación permanente con la PC a

través del puerto serie. Esta última está destinada al almacenamiento de los datos adquiridos por el sistema en planillas de cálculo de Excel, lo cual se hace de manera automática mediante una aplicación desarrollada en Visual Basic.

El diagrama de flujo al pie de página da una visión más detallada del software.

Protección del Software

Un regulador de frecuencia aplicable a microcentrales hidráulicas debe diseñarse para ser instalado en lugares aislados en los que los usuarios, en general, no poseen conocimientos para detectar o corregir desperfectos del dispositivo. Por lo tanto, el sistema debe contar con autonomía suficiente como para funcionar correctamente durante tiempos prolongados, prescindiendo de la intervención de personal capacitado.

A este respecto, el regulador cuenta con una protección contra fallas que ocurrieran durante la ejecución del software, la cual se realiza mediante la función Computer Operating Properly (COP) watchdog system que incluye el microcontrolador y que reinicia el programa - en caso de una eventual falla - a partir de una posición predeterminada por el programador, recuperando los datos válidos que le permitan seguir ejecutando instrucciones.

Por otra parte, el microcontrolador almacena todos aquellos datos que resultan importantes para el correcto funcionamiento del regulador de frecuencia en posiciones de memoria EEPROM (no volátil). De este modo, una interrupción momentánea o prolongada en el suministro de energía eléctrica de

Figura 3. Diagrama de flujo sintético del software

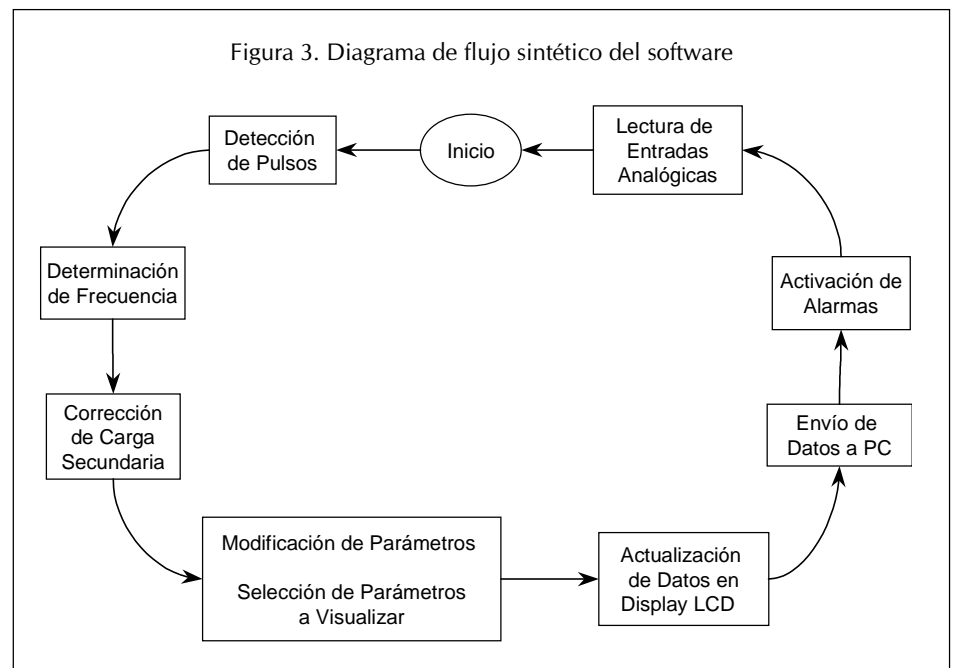




Foto 1 y 2: Regulador de frecuencia inteligente para microcentrales hidráulicas y su puesta en funcionamiento.

alimentación no se traduce en trastornos futuros en la configuración del sistema de regulación.

Visualización, Control y Diagnóstico

Varias partes del software están encargadas de responder a los comandos que el usuario ingresa a través de la interfaz que se provee a tal fin y a mostrar información en el display inteligente.

En lo que respecta a las alarmas, la primera condición de alarma se presenta cuando la frecuencia de la tensión generada excede el límite superior de la banda muerta (banda de no-regulación) y ya ha sido conectada toda la carga secundaria. La segunda condición de alarma se da cuando la frecuencia es menor que el límite inferior de la banda muerta y ya se ha desconectado toda la carga secundaria. En cuanto a las dos alarmas restantes, pueden configurarse como alarmas de máximo o de mínimo (e incluso desactivarse), y responden al valor presente en dos de las entradas analógicas.

Las tres teclas multifunción permiten, como ya se mencionó, modificar o

visualizar distintos parámetros para adecuar el funcionamiento del dispositivo regulador a muy variados requisitos. Los parámetros configurables del sistema son:

- Banda Muerta (0.2 Hz a 9.8 Hz alrededor del valor de la Frecuencia de Referencia de 50 Hz).
- Pasos de Carga Secundaria (1, 2, 4, 8, 16 ó 32 pasos).
- Velocidad de Respuesta (1 a 99 ciclos). La modificación de este valor evita oscilaciones del sistema y permite lograr estabilidad en la regulación.

Los datos que pueden visualizarse en el display inteligente son: el valor de frecuencia de la tensión generada, el porcentaje de carga secundaria conectada y los valores de las entradas analógicas (0 a 100 %). Además, puede accederse a otros valores almacenados en memoria con el fin de realizar un diagnóstico acerca de la existencia o no de fallas en el generador y/o en el regulador, resultando esta prestación de vital importancia en aquellos casos en los que el control de los equipos por parte de personal de

mantenimiento no puede ser realizado frecuentemente.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

Seis equipos han sido fabricados hasta el momento; cinco de ellos corresponden a un primer prototipo y fueron construidos a comienzos del año 1998; el sexto dispositivo pertenece a un segundo desarrollo, aún no finalizado.

Uno de los primeros reguladores se encuentra funcionando desde hace más de dos años sin que se hayan presentado anomalías. El dispositivo regula la frecuencia de una microcentral hidráulica de 2 kW que abastece de energía eléctrica a la Escuela N° 252 ubicada en el paraje Paimún, en la cordillera neuquina.

El último prototipo incluye mejoras significativas con respecto a sus predecesores. Estas mejoras apuntan al rediseño de la interfaz de Visualización y Control, la optimización del software, la incorporación de protecciones eléctricas dentro del equipo, la comunicación del regulador con una PC, etc. Además de todo lo anterior, se pretende llevar a



cabo diferentes pruebas sobre este equipo para evaluar su performance en diferentes condiciones de funcionamiento y no sólo de forma cualitativa, como se había hecho hasta el momento. Para ello se lo someterá a condiciones reales de funcionamiento en un banco de pruebas del Laboratorio de Ensayos Hidráulicos de esta Facultad. Es nuestro objetivo presentar la evaluación mencionada en el presente congreso.

CONCLUSIONES

Gracias a la tecnología desarrollada en este microcontrolador, las operaciones que ejecuta el regulador de frecuencia pueden ser modificadas y adecuadas a distintos requerimientos de diseño. Estos requerimientos, que pueden provenir tanto del cliente (indicaciones, mediciones, condiciones de alarma, etc.) como del sistema generador (potencia instalada, pasos de carga secundaria, rango de frecuencia, etc.) pueden implementarse sin que ello ocasione mayores inconvenientes en el desarrollo del software y hardware necesarios. Todo esto le otorga al regulador de frecuencia inteligente una considerable versatilidad que redundará en una mayor utilidad ante las necesidades de cada usuario (o sistema) y un bajo costo a la hora de llevar a cabo tales modificaciones.

El regulador de frecuencia por absorción de carga simplifica el diseño mecánico de la turbina, evita el golpe de ariete, no necesita volante de inercia y posee una alta velocidad de respuesta. Su bajo costo, mínimo mantenimiento y alta confiabilidad lo hacen el dispositivo ideal desde el punto de vista tecnológico para la regulación de frecuencia en microcentrales hidráulicas.

REFERENCIAS

1. Marchegiani A. (1998), «Los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos», Laboratorio de Mediciones Hidráulicas (LA.M.HI.) - Departamento de Mecánica - Facultad de Ingeniería - Universidad

- Nacional del Comahue.
2. Motorola (1996), MC68HC11 Reference Manual.
3. Quazza G., «Función de la regulación de centrales en la operación del sistema», Ricerca di Automatica - Milán - Italia.
4. Quiroga J., Fernández R., Monte G., Rivera C., Tissier C. (1996) «Regulación de velocidad por absorción de carga para microcentrales hidráulicas», 19na Reunión de Trabajo ASADES (Asociación Argentina de Energía Solar).
5. Roland R., Noviembre (1986) «Machinery and equipment for micro hydro plants», Water Power and Damp Construction.

Mayores informes:

José Mare, Leonardo Odello
Coordinación: Ing. Juan Jorge Quiroga
Departamento de Electrotecnia -
Facultad de Ingeniería - Universidad
Nacional del Comahue
Buenos Aires 1400 - (8300) Neuquén -
Argentina
E-mail: jquiroga@uncoma.edu.ar

Electrificación rural utilizando energía renovable, microcentral hidroeléctrica de Pallaco, Chile

Luis Costa Villegas

Pallaco es una comunidad indígena con 87 habitantes ubicada en la ribera sur del Lago Lleu, comuna de Tirua, a 230 kilómetros de Concepción, capital de la VIII Región del Bio Bio. Cuyo terreno de 20 hectáreas se haya rodeado de predios de explotación forestal como el pino insignie y eucalipto.

Debido a esta condición de aislamiento y lejanía de la red eléctrica convencional, la única opción posible para dotar de energía a la comunidad era contar con algún sistema de generación in situ que utilizara una tecnología renovable. Y gracias a las evaluaciones realizadas se pudo determinar que el recurso hídrico presentaba el mejor potencial de utilización.

El objetivo principal al cual se apuntaba era promover el desarrollo de la Comunidad Indígena de Pallaco, a través de la instalación de una microcentral hidroeléctrica de 15 KW, que abastezca de electricidad a la totalidad de los hogares y permita el desarrollo de actividades productivas, como la instalación de cultivos en invernadero y

talleres comunitarios relacionados con actividades propias de la cultura mapuche u otros, utilizando para este fin las horas de baja demanda de energía eléctrica.

Es así que se consiguió financiar el proyecto íntegramente por el Gobierno de Japón, dentro del marco del tratado de cooperación entre las economías de Asia y el Pacífico (APEC), el mismo que persigue como fin acelerar el proceso de electrificación rural en los países asociados a dicho tratado, uno de sus miembros es Chile. La donación, de US\$101.467 para este proyecto, se hizo efectiva a través de la División de Energía del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

CONTEXTO, ACTORES Y ESTRATEGIA

La Comunidad Indígena de Pallaco es una de las veintidos comunidades mapuches existentes en la Comuna de Tirua. En estas comunidades los niveles de analfabetismo, principalmente adultos, alcanzan a un 19.4% y los niveles de

pobreza del 47.5% superan con creces la media nacional de un 26%. Por otro lado, la zona de emplazamiento del proyecto se encuentra en un área de conflicto histórico entre el pueblo Mapuche y el Estado chileno, debido al proceso de reivindicación de tierras que llevan adelante las comunidades indígenas del sur de Chile. Todo lo mencionado anteriormente, aunado al gran índice de ruralidad existente (más del 65% de la población comunal), dificultan la implementación de cualquier tipo de proyecto, por lo que se hace necesario y relevante el desarrollo de estrategias participativas, que permitan asegurar el cumplimiento de los objetivos, diseñando, planificando, implementando y ejecutando el proyecto, desde el interior de la comunidad beneficiada.

Para lograrlo se aprovechó al máximo el nivel de organización existente en la comunidad, el estrecho lazo con la Municipalidad de Tirua, y la garantía que les brinda el trabajo con una organización neutra como las Naciones Unidas comprometida con la reivindicación de



los derechos de los pueblos indígenas. Este contexto permitió organizar el trabajo y definir los roles particulares de cada actor involucrado en el proyecto. Estos roles se describen a continuación:

1. La Comunidad constituida legalmente como Comunidad Indígena de Pallaco, personería jurídica N° 35, debería colaborar en todas las fases del proyecto aportando con mano de obra, y capacitándose en la operación, mantenimiento y administración de la microcentral.
2. La Municipalidad de Tirua sería el enlace entre la comunidad indígena y el resto de los actores involucrados, principalmente en la relación con los contratistas encargados de la ejecución de las obras. Además, deberían mantener un rol relevante desde el inicio de la operación de la microcentral, apoyando permanentemente a la comunidad en materias técnicas y administrativas.
3. La Secretaría Regional de Planificación y Coordinación (SERPLAC), junto con la Comisión Nacional de Energía (CNE), serían las encargadas de proporcionar la asistencia y supervisión técnica a los contratos desarrollados durante la ejecución del proyecto.
4. El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), realizaría el seguimiento, evaluación y coordinación general de todas las actividades del proyecto. Además, dado su rol de agencia de implementación se encargaría de la administración operativa y financiera del proyecto, subcontratando los servicios, obras e insumos necesarios para la ejecución.

ACTIVIDADES, RESULTADOS E IMPACTOS

Una vez que el proyecto estuvo operativo, se necesitaron 24 meses para su ejecución. Las distintas etapas definidas en el plan de trabajo, así como sus alcances se describen a continuación.

La construcción de la Microcentral comienza

Tanto el desarrollo de la ingeniería necesaria como la ejecución de las obras fueron considerados inicialmente como principales actividades del proyecto, las mismas que estaban destinadas a lograr la electrificación de la localidad de Pallaco. Como resultado de las actividades anteriores, desde el 2 de julio del 2001 la Comunidad Indígena de Pallaco cuenta con energía eléctrica, entregando suministro eléctrico a la totalidad de los hogares de la localidad (17), una sede comunitaria, la escuela, y un centro de cocinería. Además, la capacidad de



generación eléctrica de la microcentral, también posibilita el desarrollo de actividades de tipo productivo. Algunas de las actividades específicas e hitos de este proceso se describen a continuación.

Desarrollando el estudio de factibilidad técnica del proyecto

El estudio de ingeniería del proyecto se desarrolló a través de un proceso de licitación privado. Principalmente se abordaron dos aspectos, el primero era referente a un estudio hidrológico, que asegurara la existencia del recurso hídrico y de un caudal mínimo para la generación durante los 12 meses del año, y el segundo, el desarrollo de la ingeniería básica y de detalle para ejecutar el proyecto. Paralelamente, una vez dimensionado el recurso, se aseguró el caudal de generación solicitando los derechos de aprovechamiento de aguas de uso consultivo a nombre de la Comunidad Indígena, los que permiten el uso permanente y continuo del recurso, en este caso, para la generación de energía.

Manos a la obra

Las obras para la construcción de la microcentral se dividieron en dos: las de generación de energía y las de distribución (redes eléctricas e instalaciones interiores). Para su ejecución fueron contratadas dos empresas a través de un proceso de licitación desarrollado por el PNUD y la CNE. En ambos casos, la CNE realizó las inspecciones técnicas y visó los estados de pago respectivos. Por otro lado, una vez definido el equipamiento electromecánico, el PNUD realizó la adquisición y despacho los equipos a la localidad para su instalación.

La comunidad también participa

La participación de la comunidad fue fundamental en todas las etapas del proyecto, siendo involucrada incluso en las etapas de diseño, control y monitoreo. Esta participación comunitaria se dio sobre la base del desarrollo de un diálogo libre y abierto, y de una interacción y

relación permanente entre todos los beneficiarios con la directiva de la comunidad, y el resto de los actores involucrados en el proyecto.

La comunidad también participó en la ejecución de parte de las obras y en la toma de algunas decisiones estratégicas para el éxito del proyecto. Para la toma de decisiones por parte de la comunidad, la estrategia fue ir entregando, a través del diálogo, todos los antecedentes de carácter técnico, administrativo y de gestión necesarios. Para ello se realizaron talleres de planificación, con la participación conjunta de la Municipalidad, la Comisión Nacional de Energía y el PNUD, en reuniones informativas y de planificación con todos los miembros de la comunidad. Algunos temas tratados fueron la coordinación de los aportes en mano de obra, los plazos de los diversos contratos realizados, entre otros. Como resultado se logró una comunidad comprometida y activa con los objetivos del proyecto.

Otra instancia de participación comunitaria, especialmente de la directiva, tuvo relación con el diálogo para definir los estatutos administrativos que regirán el proyecto. La participación de todos los actores involucrados en una serie de talleres de trabajo desarrollados (directiva de la comunidad, CNE, PNUD y Municipio) fue fundamental. Como resultado se generó el documento denominado: «Contrato de Suministro de Energía Eléctrica, Microcentral Hidroeléctrica de Pallaco, Comuna de Tirua», que rige todos los aspectos administrativos, operativos y técnicos del proyecto, y asigna responsabilidades concretas.

Los principales acuerdos sancionados, se relacionan con los siguientes temas:

I. Servicio

La Comunidad se compromete a operar y mantener el sistema de generación hidroeléctrico, es decir: obras civiles, equipos, líneas de distribución eléctrica, empalmes e instalaciones interiores, según las condiciones técnicas exigidas por la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC), reglamentos de operación y mantenimiento de la microcentral y normas de seguridad en el suministro eléctrico.

II. Operación y Mantenimiento

La operación y mantenimiento del sistema eléctrico de generación y distribución de energía eléctrica es de exclusiva responsabilidad de LA COMUNIDAD. La instalación interior es de responsabilidad de cada USUARIO.

La operación y mantenimiento del



sistema eléctrico serán efectuadas por operadores pertenecientes a la localidad contratados y supervisados por LA COMUNIDAD con cargo a la cuenta bancaria de administración¹, quienes contarán con el entrenamiento y los conocimientos de operación necesarios para efectuar todas las actividades de mantenimiento y operaciones básicas de la microcentral².

LA COMUNIDAD será responsable de la seguridad contra hurto, intrusiones y prevención de accidentes. Dejando expreso la prohibición total a los operarios de laborar bajo el efecto del alcohol, sin perjuicio de las acciones legales que correspondan y sanciones que la comunidad determine.

LA COMUNIDAD tendrá la responsabilidad de informar, cuando sea necesario, de las suspensiones temporales del servicio eléctrico en alguna parte o de la totalidad de la red para efectuar el mantenimiento, reparación, ampliación, conexiones de nuevos clientes o mejora de las mismas, deberá ser previamente programada e informada a los USUARIOS afectados con al menos 24 horas de anticipación. Estas suspensiones deberán ser efectuadas, siempre que ello sea posible, en los días y horas que provoquen menos efecto sobre los servicios de los USUARIOS.

LA COMUNIDAD se reserva el derecho de limitar y/o suspender los consumos eléctricos de los USUARIOS que no respeten las cláusulas del contrato, en cuanto a potencia, o energía eléctrica, o en cuanto al oportuno pago del valor de tarifa correspondiente, asimismo la incorporación de un nuevo usuario será considerada en asamblea de la comunidad previo análisis técnico exhaustivo.

En caso de no pago del servicio, la MUNICIPALIDAD podrá cortar el suministro de energía, no antes de transcurridos dos meses impagos, aplicando una multa de US\$ 0,77 por cada mes de retraso. Una vez cancelada la deuda, la MUNICIPALIDAD contará con 3 días hábiles para restablecer el servicio.

LA COMUNIDAD deberá mantener un libro de anotaciones y reclamos en

la casa de máquinas del operador para que el USUARIO notifique cualquier desperfecto que afecta su servicio eléctrico, como también a quienes se les ha interrumpido el servicio eléctrico. Cuando el desperfecto se solucione y/o la reconexión al sistema del USUARIO desconectado se efectúe, deberá quedar consignado en el libro.

Será de absoluta responsabilidad de LA COMUNIDAD todos los costos ocasionados por el mantenimiento y/o reparación de desperfectos que se produzcan en el sistema cualquiera sea la causa. La COMUNIDAD deberá tomar todos los resguardos necesarios para evitar daños a las instalaciones a consecuencia de caídas de árboles, lluvias, avenidas, etc.

En caso de que los sellos de seguridad de las instalaciones sean violados por parte del USUARIO con resultado de daño o deterioro, todos los gastos asociados a la reparación de los desperfectos serán a costo del USUARIO.

III. Administración

La administración de los fondos obtenidos por concepto de tarifas, multas, ingresos para reparación y otros aportes para la operación y mantenimiento adecuado de la microcentral hidroeléctrica y líneas eléctricas serán de responsabilidad de la MUNICIPALIDAD en conjunto con los representantes de la COMUNIDAD, quienes recibirán el nombre de Consejo de Administración.

Para efectos de administrar adecuadamente los recursos financieros recaudados por la operación del sistema eléctrico, LA MUNICIPALIDAD y un representante de LA COMUNIDAD abrirán y mantendrán una cuenta de ahorro bancaria bipersonal donde se realicen los ingresos y egresos para el mantenimiento y operación del sistema eléctrico.

La notificación de consumo de energía eléctrica y cuentas por pagar se efectuará el primer día lunes de cada mes a todos LOS USUARIOS mediante boletas de pago. LA COMUNIDAD, mediante el operador tendrá la responsabilidad de efectuar la lectura de registros de cada mes. LA MUNICIPALIDAD, tendrá la responsabilidad de realizar los cobros por

el suministro mediante recaudación en el tercer lunes de cada mes en un lugar habilitado de la localidad de Pallaco.

Las recaudaciones obtenidas se ingresarán a la cuenta bancaria a más tardar dentro de la semana en que fueron cobradas. LA COMUNIDAD Y LA MUNICIPALIDAD deberán poseer una copia del ingreso realizado en el banco.

LA COMUNIDAD deberá mantener actualizado un libro de contabilidad de registros de ingresos y pagos de las recaudaciones y sus respectivos documentos que fundamentan el registro. (cobro de tarifas, pago de reparaciones, asistencias técnicas, etc.).

Estos fondos se utilizarán exclusivamente para financiar el mantenimiento y operación correcta de la microcentral hidroeléctrica, obras civiles y líneas de distribución. Para el caso de las instalaciones domiciliarias cada USUARIO deberá cubrir los gastos de reparación y mantenimiento de los mismos.

IV. Fiscalización de la Administración

Para fiscalizar adecuadamente la administración de los fondos, LA COMUNIDAD formará un comité de fiscalización formado por el presidente de la Comunidad, quien presidirá este comité, el secretario de LA COMUNIDAD quien llevará actualizado el libro de registros de ingresos y pagos y un representante de LA MUNICIPALIDAD.

Este comité tendrá la responsabilidad de aprobar todos los egresos de la cuenta bancaria para gastos de mantenimiento, compra de repuestos, pago de reparaciones, pago de asistencias técnicas, etc.

LA MUNICIPALIDAD podrá recomendar a la COMUNIDAD, la asistencia técnica más adecuada para el correcto mantenimiento del sistema.

Este comité tendrá la obligación de efectuar rendiciones de cuentas semestrales a LA COMUNIDAD del uso de los fondos recaudados para el mantenimiento y la operación del sistema eléctrico.

V. Los precios de Suministro y Cláusulas de Reajustabilidad

Para financiar los costos de operación y mantenimiento del sistema, todos LOS USUARIOS serán incluidos en una estructura tarifaria que se comprometerán a pagar, en consideración a lo indicado en el punto segundo y de acuerdo a la Tabla 1.

Los precios incluidos en el siguiente contrato se reajustará anualmente, el primer día de cada año, de acuerdo con la variación que hubiese experimentado el índice de precios al consumidor (IPC)

Tabla N° 1 Estructura Tarifaria

Tarifas	Límites de Potencia en vivienda Kw	Cargo Fijo Mensual US\$/mes	Cargo variable US\$/kwh/mes
Básica	0 - 3,5	1,23	0,1
Especial	3,5 ó más	2,31	0,1



durante los 12 meses acumulados del último reajuste.

LA MUNICIPALIDAD entregará una boleta de pago mensual a cada USUARIO que efectúe su cancelación.

VI. Propiedad de las Instalaciones

Las instalaciones que incluyen: obras civiles de bocatoma, cámara de carga, tuberías de presión, casa de máquinas, equipamiento en la casa de máquinas, líneas de distribución eléctrica son de propiedad de LA COMUNIDAD, una vez entregado en Comodato dado por el Representante del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). La instalación interior y empalme son de propiedad de cada USUARIO.

Los 6 puntos anteriores tratados forman parte del documento, «Contrato de Suministro de Energía Eléctrica, Microcentral Hidroeléctrica de Pallaco, Comuna de Tirua», que posee carácter legal, y está firmado por el Alcalde de la Municipalidad de Tirua, por el Presidente de la Comunidad Indígena, y por cada uno de los usuarios.

Siguiendo con el desarrollo de aspectos del proyecto asociados a la participación de la comunidad, con un trabajo más dirigido a los grupos familiares, se capacitó a la comunidad en el manejo eficiente de esta nueva fuente de energía. Cabe señalar que el cambio experimentado por los miembros de la comunidad, entre el uso, principalmente de velas, lámparas a parafina y gas, pilas, etc. y la electricidad es inmenso³. Por esta razón, y particularmente a través de visitas casa a casa, se detallaron y explicaron a las familias los usos correctos de la energía, los beneficios de ésta asociados a las actividades cotidianas de cada hogar, y las proyecciones y potenciales nuevos usos

tanto en los hogares, como en el desarrollo de otro tipo de actividades. En esta tarea se dio especial énfasis a la participación de mujeres y niños, que en la práctica son quienes más tiempo conviven con la energía domiciliaria.

Finalmente, como resultado de estas actividades y talleres, los miembros de la Comunidad Indígena de Pallaco adquirieron los conocimientos necesarios para implementar un sistema de administración comunitaria de la microcentral hidroeléctrica, en términos de su operación, mantenimiento y administración del suministro eléctrico.

MECANISMO DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO SOCIOCULTURAL Y ECONÓMICO DE ESTE TIPO DE PROYECTOS

Con el propósito de diseñar esquemas óptimos de administración y gestión de proyectos, y para definir alternativas de desarrollo productivo que consideren las posibilidades locales, sus formas de relación y acceso a mercados, además del valor agregado que tienen a partir de contar con abastecimiento eléctrico, el proyecto desarrolló un diagnóstico, seguimiento y evaluación de los efectos de la electrificación en la comunidad indígena.

Para ello, por un lado, el PNUD y la CNE llevaron a cabo el seguimiento y evaluación de cada una de las actividades del proyecto, con mediciones cuantitativas de sus resultados, y por otro, una empresa consultora especializada y externa al proyecto (URVE Consulting Group), diseñó un instrumento de diagnóstico y evaluación para medir los efectos de la electrificación en la comunidad rural indígena.

Refiriéndonos a los efectos esperados por la construcción de la microcentral en la comunidad, y definiendo como efectos a aquellos cambios que se producen una vez que las familias de la localidad ya cuentan con la energía eléctrica, no encontramos de forma general con el mejoramiento de la calidad de vida.

Para realizar una medición de estos efectos se requiere de una evaluación previa, de manera tal que se puedan identificar las variables y/o indicadores sobre los cuales se prevé influir. Bajo este diseño y atendiendo a la ausencia de esta evaluación previa, se reconstruyó la situación inicial de la comunidad, y a partir de un diagnóstico descriptivo realizado desde los sujetos, determinando así las expectativas de cambio en torno a la obtención de energía eléctrica.

El instrumento diseñado en este caso, tuvo entre sus objetivos particulares cuantificar los cambios en la calidad de vida de la comunidad Indígena de Pallaco, a partir de la obtención de energía eléctrica domiciliaria, objetivar dichos cambios respecto de la obtención de energía eléctrica, y conocer los efectos no previstos producto de la electrificación identificados por la comunidad indígena de Pallaco.

En este apartado se describe la metodología utilizada en el diseño del instrumento de evaluación, y no los resultados de su aplicación, ya que aún no ha terminado el proceso de sistematización de la información recopilada.

Indicadores de Impacto y Variables del Instrumento

Los indicadores definidos en la evaluación se dividen en:

- Aquellos que tienen un impacto directo asociado a la energización
 1. Horas de trabajo productivo (sea de autoconsumo o de comercialización), sean hombres o mujeres en edad productiva
 2. Diversificación de las actividades productivas.
 3. Horas de estudio por alumno.
 4. Rendimiento escolar.
 5. Consumo de energía eléctrica por familias
- Aquellos que miden impactos que modifican la vida cotidiana de los habitantes de la comunidad:
 1. Consumo de Televisión.
 2. Consumo de Radio.
 3. Aumento de la actividad asociativa.
 4. Visualización de oportunidades laborales.
 5. Adquisición de electrodomésticos
 6. Migración.



Ahora bien, dada las características propias de la comunidad, y los objetivos definidos en esta evaluación, se determinó medir las siguientes variables:

- Productividad: aumento de ingresos; diversificación de actividades productivas; incorporación de herramientas o maquinarias.
- Rendimiento: número de horas de estudio; aumento en la calificación escolar de los niños.
- Mejoramiento de la calidad de vida: acceso y uso de electrodomésticos.
- Cultura: cambios en los roles identificados en la organización; mantenimiento y/o disminución de la lengua originaria; identificación de aspectos y/o cambios en las mujeres.
- Migración: se considera que el acceso a la TV, podría implicar como efecto no previsto la necesidad de migración.

Publico Objetivo y Características del Instrumento

Aunque el público objetivo es la totalidad de la comunidad de Pallaco, las entrevistas fueron realizadas a hombres y mujeres mayores de 16 años, por considerar que las personas a partir de esa edad están en condiciones de entregar información y opiniones respecto a los temas abordados por el instrumento, especialmente si consideramos que de acuerdo a las características sociales de la comunidad, las personas a partir de esa edad ya realizan actividades laborales y productivas remuneradas, no remuneradas, de autoconsumo, subsistencia y/o comercialización.

El instrumento contempla un conjunto de variables sociodemográficas que permiten realizar los cruces y tabulaciones que sean posibles en el marco de la totalidad de las otras variables consideradas, pudiendo comparar, por ejemplo de acuerdo al género y la edad, el mejoramiento de la calidad de vida. En todo caso antes de proceder a la construcción de los cruces entre variables que permiten ampliar la capacidad descriptiva y comprensiva del estudio, se recomienda realizar una descripción general univariada para, una vez establecido el comportamiento de cada una de las variables, proceder a recategorizaciones y/o refundiciones entre variables que se estime puedan potenciar la calidad de los cruces que se trabajen.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La ejecución de este proyecto, ha permitido que se aborden dos temáticas complicadas en Chile. Primero la utilización exitosa de una energía

renovable en el ámbito de la electrificación rural, y en segundo lugar, la definición de un sistema de administración autónomo dirigido por la comunidad local, más aún cuando se refiere a una comunidad indígena territorialmente ubicada en zona de conflicto.

A continuación van algunas recomendaciones, que a nuestro juicio deben considerarse dentro de una estrategia participativa de desarrollo:

1. El proyecto será más eficiente y logrará mejores resultados, aceptación y sentimiento de pertenencia, si quienes lo implementan, solicitan e involucran a los beneficiarios en el diseño y la identificación de las necesidades, capacidades, oportunidades y limitaciones locales frente al proyecto.
2. Los aspectos fundamentales de diseño del proyecto, su justificación, las metas propuestas, objetivos y resultados esperados, deben ser comprendidos por todos los actores involucrados, incluyendo a los donantes, instituciones asociadas, grupos objetivo, y otros grupos que pudieran verse afectados por las intervenciones que el proyecto realice.
3. La participación de los actores, durante todo el proceso de diseño y definición final del proyecto, ayuda a la consistencia global de éste, y facilita la identificación de los participantes claves para la etapa de implementación.

En lo relacionado a la sostenibilidad del proyecto, ésta dependerá, en buena medida, del éxito en la administración que tenga la comunidad. Para ello, se diseñó un esquema de administración (el que considera el pago de los usuarios por el servicio eléctrico), en conjunto con la municipalidad, la CNE y la comunidad indígena, que asegurará su sostenibilidad en el tiempo. Con la tarifa propuesta, además de cubrir los costos de operación y mantenimiento de la microcentral, los que incluyen un pequeño salario para el operador, existe además un beneficio social económico importante que da la posibilidad real de generar ahorros a las familias en el gasto por concepto de energía.

Por otro lado, importante dentro del esquema administrativo diseñado, fundamental para la sostenibilidad operativa del proyecto de la administración, es la co-administración de la microcentral entre la comunidad y el municipio.

Cabe señalar también que la principal barrera que ha debido derribar el proyecto en su etapa de ejecución, tiene que ver con el proceso de intervención física de actores externos (contratistas) en la comunidad, los que en algunos casos no cumplieron con cier-

tos códigos propios de la cultura mapuche, lo que significó un grado de conflicto que requirió de la intervención y coordinación de la Municipalidad para interceder y generar acuerdos entre la comunidad y los contratistas que ejecutaban las obras en la localidad, para finalizar exitosamente los trabajos.

Las posibilidades de replicar este proyecto a otras localidades son muchas si consideramos la existencia de miles de viviendas que aún no cuentan con energía en las zonas rurales de Chile, y que muchas de éstas además corresponden a comunidades indígenas. Pero sin duda, lo importante de este proyecto, es que el modelo de administración comunitario desarrollado, puede también replicarse en otro tipo de comunidades, asociaciones y organizaciones de usuarios en general. Con este objetivo, la oficina del PNUD de Chile, ya está trabajando en el sector de Alto Bio Bio, en la Octava Región, cajón montañoso, habitado solamente por comunidades indígenas, para lograr una opción de energización con tecnologías limpias, que permita superar y mejorar la calidad de vida a unas 500 familias.

Para finalizar, es importante destacar que la misión del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo es ayudar a los países a conseguir un Desarrollo Humano Sostenible. En ese marco, una de las vías es la protección y regeneración del medio ambiente. Los vínculos que este proyecto tiene con el desarrollo sostenible son claros, si entendemos como energía sostenible la energía producida y utilizada de forma que sustente el Desarrollo Humano en todas sus dimensiones sociales, económicas y medioambientales.

1 Ver detalle en apartado referido a la Administración

2 Para ello, durante el periodo de marcha blanca del proyecto, fue realizado un taller de capacitación en la operación y mantenimiento de la microcentral, a 3 miembros de la comunidad, y en mantenimiento preventivo a personal técnico de la Municipalidad, quienes mantendrán directa supervisión sobre los operadores locales.

3 Las familias llevaban 35 años viviendo en este sector rural aislado sin acceso a la electricidad.

Mayores informes: Ingeniero Luis Costa Villegas
Área Medio Ambiente, Grupo Políticas Públicas
Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Chile
Av. Dag Hammarskjöld 3241, Vitacura, Santiago de Chile
E-mail: luis.costa@undp.org



Turbinas de río: una alternativa energética para la Amazonía

Saúl Ramírez y Rafael Escobar

1. INTRODUCCIÓN

La idea de utilizar la “fuerza de la corriente de los ríos” no es nueva, existen muchas propuestas de diseño de turbinas para aprovechar este recurso a pequeña y gran escala¹. Sin embargo, en la realidad, poco se conoce sobre experiencias de aplicación masiva, más allá de algunos modelos artesanales de aplicación muy restringida (modelos ad-hoc para cada caso). La experiencia más destacable conocida por su largo esfuerzo de desarrollo ha sido el caso de la turbina Garman, diseñada por el Británico Peter Garman, un investigador quien inició en ITDG sus actividades en el tema.

A inicios de los 80's, la oficina de ITDG en United Kingdom, realizó algunos trabajos sobre las turbinas de río utilizando un rotor de eje vertical tipo Darrieus. Un prototipo de 4m² fue diseñado e instalado en el río Nilo al sur de Sudán con resultados satisfactorios².

La falta de fondos hizo que ITDG descontinuara la investigación. Entre 1988 y 1994, Peter Garman, el ingeniero responsable del proyecto iniciado por ITDG continuó con el trabajo por cuenta propia desarrollando una turbina de eje inclinado respecto a la horizontal (aprox. 30°) para el bombeo de agua, diseño que obtuvo el premio a la “Tecnología Apropiaada” en 1990³.

El desarrollo, mejoras y pruebas de la turbina han sido continuos, actualmente se fabrica y comercializa en Sudán, Egipto, Somalia y otros países del Africa. Una de las características de estos equipos es que pueden operar con velocidades del río entre 0.6 y 1.5 m/s, pudiendo irrigar hasta 12 hectáreas de vegetales en 14 horas de trabajo diario. La máxima altura de bombeo es de 25 m.

2. LA EXPERIENCIA DE ITDG-PERU

2.1. Actividades de desarrollo de turbinas de río en el Perú

En 1996, el Programa de Energía de ITDG-Perú, inició algunas actividades conjuntas con Peter Garman para adap-



Foto 1: Turbina Garman para bombeo de agua

tar su diseño “la turbina Garman”, en la generación de electricidad en pequeñas potencias y así satisfacer las pequeñas demandas de energía en las pequeñas comunidades ribereñas de la selva peruana, con la posibilidad de que una vez probado su funcionamiento, se pueda transferir dicha tecnología a otras regiones donde existan recursos hídricos utilizables mediante esta máquina.

Algunas de las actividades conjuntas fueron las visitas de prospección de recursos en los ríos, Napo, Amazonas y Huallaga, encontrándose viable el uso de esta máquina para una gran cantidad de pequeñas comunidades de la selva peruana, especialmente en aquellos ríos cuyo gradiente es un poco mayor como es el caso del río Napo.

Durante los siguientes años con la colaboración de organismos de cooperación técnica se logró financiar e instalar un modelo de 500W de potencia en la comunidad El Paraíso, y que actualmente sirve como unidad piloto, en la cual el Programa de energía continua su trabajo de investigación y adaptación de la tecnología.

2.2. La turbina de río de la comunidad “El Paraíso”

Tomando en consideración las evaluaciones previas del potencial energético, la evaluación del nivel de organización de las comunidades, el grado de interés y la cercanía a Iquitos lo que facilitaba el montaje, pruebas y monitoreo, se decidió la instalación del prototipo en la Comunidad Centro Unión Paraíso.

a) Ubicación del proyecto: La Comunidad de Paraíso se encuentra a orillas del río Napo, distrito de Mazán, provincia de Maynas, departamento de Loreto. El acceso a esta comunidad se realiza en transporte bi-modal partiendo del Puerto de Productores en Iquitos en los llamados rápidos⁴ hasta el Puerto de Varadero en Mazán (1 hora de viaje por el río Amazonas), se continua vía terrestre en *motocar* hasta el Puerto de Mazán, para finalmente cruzar el río Napo, normalmente en *pequepeque*⁵, hasta la comunidad de Paraíso. El tiempo total de viaje efectivo es de aproximadamente 1.5 horas.



b) **El acceso a la energía:** La comunidad El Paraíso como la gran mayoría de comunidades rurales de la selva peruana tiene problemas muy serios para el acceso a la energía; especialmente en lo que se refiere al alumbrado, ya que cuenta con limitadas opciones energéticas; su posibilidad de acceso a la red nacional es nula, no existen (o si existen son muy escasos) lugares donde se pueda utilizar energía hidráulica bajo la óptica y las tecnologías existentes en el medio (mini o microcentrales hidráulicas), existen abundantes recursos de biomasa en base a una muy rica y variada flora de la zona, sin embargo este recurso no se puede utilizar sólo para la cocción de alimentos, pues su uson o viabilidad en la generación de energía a pequeña escala está aún en investigación, la energía solar fotovoltaica es una alternativa pero todavía sigue siendo costosa.

El uso de baterías ha servido actualmente para satisfacer pequeñas demandas de energía (radio, TV, iluminación). La desventaja, en este sentido, es el alto costo que implica el servicio de recarga, el cuál sólo se puede realizar en las grandes ciudades o capitales de distrito, con el consiguiente gasto en tiempo (en algunos hasta dos días de viaje) y dinero (pasaje, alimentación y el costo del servicio). Dependiendo del lugar y la oferta, el costo por recargar una batería varía entre S/. 3 a S/.7.

No obstante, las comunidades ribereñas de la selva tiene la oportunidad de utilizar un recurso natural existente en los ríos, potencial que ha sido confirmado por ITDG en una breve evaluación de campo, en las que se realizaron mediciones de la velocidad en algunos ríos de la selva alta y baja del Perú⁶.

c) **Instalación del primer prototipo:** La instalación de un equipo en calidad de prueba fue la primera fase del desarrollo, este equipo fue donado en su totalidad por Thropton Energy Systems (TES-UK). El equipo estaba compuesto por un rotor tripala (fibra de vidrio), un generador eléctrico acoplado directamente a un generador multipolo a través de un eje tubular y un tablero de control de carga de baterías.

Los resultados del modelo instalado sirvieron como una fuente importante de información en el proceso de aprendizaje del equipo técnico, no solamente en el tema técnico sino en el tema social, sirvió para obtener información valiosa para el desarrollo de un nuevo modelo bajo el concepto de tecnología apropiada, utilizando materiales locales así como conocimientos y habilidades locales.

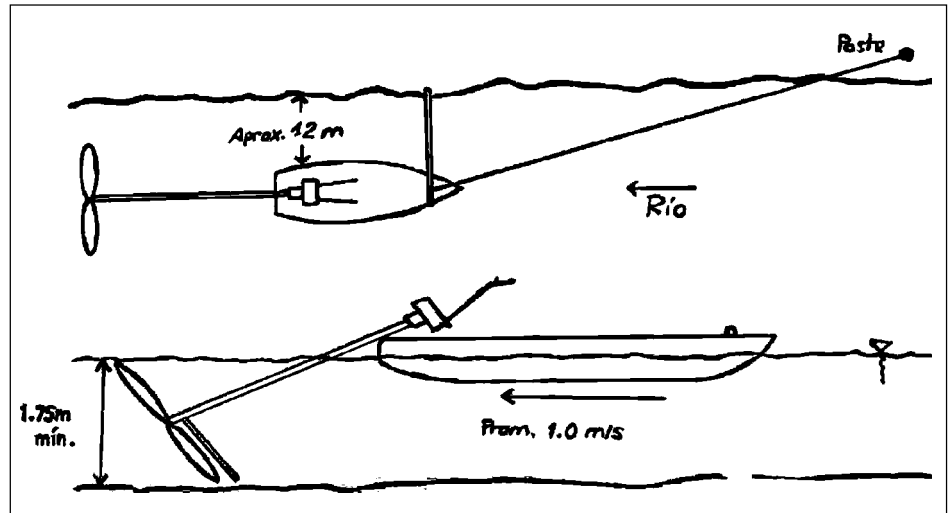


Fig. 1: Esquema de instalación de la turbina de río

Ese proceso de desarrollo se inició en Agosto de 1999, con la instalación del primer prototipo por el equipo Técnico del Programa de Energía de ITDG y los pobladores de la comunidad de Paraíso. El funcionamiento de la máquina prototipo instalada fue altamente irregular, entre otras cosas debido a que la máquina donada no había sido probada en campo. Las fallas fueron tanto en los componentes eléctricos y electrónicos, así como en los componentes mecánicos.

A pesar de ello, en el poco tiempo que estuvo funcionando el equipo los resultados fueron alentadores:

- La comunidad comprendió que este tipo de tecnología es una opción real para acceder a la energía eléctrica, por tanto el entusiasmo por continuar investigando conjuntamente con ITDG fue en aumento.

- Durante los cortos períodos que llegó a funcionar la máquina prototipo, los pobladores de comunidades vecinas y de Mazán⁷, recurrían a Paraíso para recargar sus baterías, tanto por el costo como por la rapidez del servicio.
- El costo del servicio de cargado de baterías en comunidades vecinas había bajado sustancialmente, en Mazán, por ejemplo el costo inmediatamente se redujo al 50%⁸.

El proceso de adaptación de la tecnología se aceleró con el lamentable fallecimiento de Peter Garman (Propietario de TES-UK), puesto que al desaparecer el principal investigador e inventor de esta máquina en UK, ITDG continuó solo en el proceso. Este hecho implicó un trabajo mayor de gabinete no previsto inicialmente⁹, desarrollo pormenorizado de cada una de los componentes, pasando por cálculos teóricos, diseños



Foto 2: Equipo donado por TES, montaje del generador



de ingeniería, construcción y pruebas de un nuevo modelo.

3. LA NUEVA TURBINA DE RIO

3.1. Diseño de los alabes

Para el diseño aerodinámico de los alabes se ha aplicado la teoría del ala utilizada en el diseño de aerogeneradores, con la salvedad de que en este caso se trata de una máquina sometida a eventuales esfuerzos mayores y obviamente con otro tipo de fluido (agua). Para el cálculo del diámetro del rotor se utilizó la ecuación de potencia de las turbinas eólicas:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (A) \cdot V^3 \cdot C_p \cdot \eta$$

$$A = \left(\pi \cdot \frac{d^2}{4} \right)$$

$$d = \sqrt{\left(\frac{8 \cdot P}{\pi \cdot \rho \cdot V^3 \cdot C_p \cdot \eta} \right)}$$

Donde:

- d: Diámetro del rotor de la turbina de río (m)
- P: Potencia de diseño del aerogenerador (W)
- r: Densidad del agua (kg/m³)
- V: Velocidad del agua o río (m/s)
- A: Area barrida por la turbina (m²)
- C_p: Coeficiente de potencia (adimensional)
- h: Eficiencia del generador

$$\frac{U}{V_D} = \frac{N \cdot d}{60 \cdot V_D}$$

$$N = \frac{60 \cdot V_D}{d}$$

Donde:

- N: Velocidad de giro del rotor (r.p.m.)
- U: Velocidad tangencial al extremo de la pala (m/s)
- V_D: Velocidad de diseño (m/s)
- l: Celeridad

a) El Rotor

- Tres alabes fabricados en fibra de vidrio
- Diámetro nominal, 1.75 m.
- Velocidad de giro, 45 r.p.m. a 1 m/s de la velocidad del río
- Dos platos de sujeción en acero inoxidable para el montaje de los alabes

b) El Generador: Siempre con el objetivo de reducir costos y contar con una tec-



Foto 3: Primer prototipo en funcionamiento

nología que pueda ser fabricado localmente, ITDG comenzó a trabajar en el desarrollo de un generador de imanes permanentes, los que permitieron reducir la velocidad de generación, por un lado y por el otro, obtener un bajo costo del equipo¹⁰ el mismo que pudiera ser adaptado al rotor de la turbina de río y finalmente proceder a su fabricación y pruebas. Los principales componentes del sistema son: Generación de corriente alterna que a través de un sistema de diodos rectificadores transforma el voltaje a 12 V y potencia, 250 W a 360 r.p.m.

c) Árbol de transmisión

- Consiste en un tubo de acero galvanizado de 1.5" de diámetro nomi-

nal. Esta acoplado directamente al rotor.

- Este tubo va encapsulado en otro de las mismas características con 2.5" de diámetro nominal, que sirve de soporte y protección.

d) Otros

- Fajas y poleas: componente intermedio entre el árbol de transmisión y el generador, es un amplificador de velocidad.
- Tablero de control: cuenta con los instrumentos de medición básicos (voltímetro y amperímetro), y los respectivos diodos rectificadores para 12 V.
- Balsa flotante, de fabricación local por los propios pobladores.



Foto 4: Alabes del rotor



El equipo se terminó de instalar en abril del 2002 y viene brindando el servicio de carga de baterías en la comunidad de Paraíso. ITDG continúa con el monitoreo del equipo, habiéndose realizado la última visita en Octubre del 2002¹, después de 6 meses de funcionamiento, en la que se pudo comprobar que el equipo viene funcionando normalmente siendo lo más importante que los pobladores han asimilado y apropiado la tecnología pudiendo fácilmente realizar las operaciones de mantenimiento, montaje y desmontaje del sistema.

3.2. La organización de la comunidad

Si bien el proyecto tenía esencialmente objetivos técnicos y por lo tanto la máquina de carácter “piloto”, debía mostrar principalmente resultados sobre su comportamiento. El equipo encargado del desarrollo consideró de mucha importancia trabajar en el tema de la organización, tanto para el apoyo necesario de la comunidad durante toda la etapa de desarrollo así como para la futura operación y mantenimiento del equipo y el uso de la energía.

Fue así que se realizó un estudio socioeconómico de la comunidad con la participación activa de la población a fin de identificar las principales necesidades básicas, el nivel de organización y el grado de instrucción y habilidades de los pobladores. En base a este estudio se consideró muy importante trabajar en el tema de creación de la capacidad local y de la organización para el correcto manejo de los equipos y el eficiente uso de la energía.

Un tema importante fue definir el tipo de organización que tendría a cargo la responsabilidad del manejo y administración del sistema en su conjunto (generación, cargador de baterías, TV, VHS y refrigerador). Después de un análisis conjunto entre la población, autoridades e ITDG se llegó a la decisión de formar un **COMITÉ DE ADMINISTRACION Y GESTION**, que se encargaría de dar cuenta del manejo del sistema en su conjunto, así como de velar por su buen estado.

3.3. La capacitación en O&M

Los miembros del Comité y los encargados de la operación del equipo debían ser capacitados para el manejo y administración de los servicios instalados. En consecuencia la capacitación se dio en dos rubros: técnico y administrativo.

En la capacitación se utilizó con bastante insistencia el principio de “aprender haciendo”, es decir en la medida en que se hacía la instalación las autoridades y pobladores intervenían en el montaje de los equipos; esta metodología tuvo importantes resultados, ya que al final del proceso de instalación se podía contar con un grupo importante de pobladores con el conocimiento y habilidad necesarias para el montaje y desmontaje de la turbina en su conjunto.

La capacitación no se limita a la formación de los comuneros a cargo de la operación y mantenimiento de los equipos, sino a toda la población, por cuanto era imprescindible que los pobladores conozcan algunos temas críticos como la capacidad de generación de los equipos y por ende la capacidad

de suministro de energía, la necesidad de cuidado en términos de operación y mantenimiento y la necesidad de contar con sistemas sostenibles en el tiempo.

3.3. Los impactos en la población

El proyecto durante su desarrollo, tal como se ha indicado, atravesó etapas de incertidumbre, sin embargo pese a ello la organización comunal continuó impulsando el desarrollo total del mismo. El liderazgo de los representantes de la comunidad ha sido muy importante para contar con la mano de obra local, así como el apoyo brindado a la instalación de los equipos. Esto ha servido para que otras comunidades como Petrona se hayan beneficiado con la implementación de otros equipos, como parte de este proyecto.

La economía de las familias de Paraíso se ha visto favorecida ya que es posible brindar el servicio de cargado de baterías en la propia comunidad y a un costo menor en relación a Mazán, sin incluir los gastos en transporte o tiempo dedicado para este efecto. Se estima que cada familia que hacía uso de este servicio estaría ahorrando un promedio de 6 soles por cada recarga que realice.

El impacto de los servicios de educación y salud han servido para identificar dos factores importantes. La utilización de la energía para el alumbrado de aulas y el funcionamiento de TV y VHS son importantes, ya que no sólo han mejorado el servicio de iluminación sino que los docentes tienen la oportunidad de utilizar los equipos de audio video en el proceso de enseñanza – aprendizaje, mejorando así el aprovechamiento de los educandos.

La salubridad, beneficiada también por la iluminación en el tópico, es la que hace posible que la atención se realice en condiciones más favorables. De igual manera, el equipamiento con un refrigerador permite tener en condiciones útiles vacunas y otras sustancias que sirven para curaciones como mordeduras de víboras (que son muy permanentes) y también para campañas de vacunación, previniendo diversas enfermedades, especialmente en niños y jóvenes.

4. CONCLUSIONES

- Se ha logrado desarrollar y probar con éxito un prototipo de la turbina de río, el que después de 6 meses de instalado viene funcionando sin ningún problema beneficiando a los pobladores de Paraíso y comunidades vecinas con el servicio de carga de baterías.
- Los principales componentes de la turbina de río (rotor, generador y otros)



Foto 5: Generador de imanes permanentes



Foto 6: Instalación actual de la turbina de río

pueden ser fácilmente transferidos a pequeños talleres locales. De hecho ya existe una pequeña empresa que ha recibido esta transferencia de tecnología.

- Es necesario continuar el trabajo de investigación y desarrollo de esta tecnología, puesto que quedan pendientes responder a importantes preguntas sobre el comportamiento de estas máquinas a largo plazo, especialmente tratándose de ríos cuyos caudales varían fuertemente durante las épocas de lluvias y estiaje. El comportamiento de las máquinas frente al arrastre de sólidos flotantes de gran tamaño (frecuentes en estos ríos), las implicancias sobre la navegación, y otros puntos deben ser también analizados.

- La selva peruana cuenta con importantes recursos hídricos para la aplicación de esta tecnología la misma que puede satisfacer las demanda básica de energía de los pobladores rurales de la zona que difícilmente podrían contar con un servicio de energía en el mediano y largo plazo.
- La organización de un Comité de Administración y Gestión ha permitido fortalecer a la comunidad, dotándole de habilidades y destrezas en el manejo económico y en la planificación de sus servicios.

5. BIBLIOGRAFIA

- ITDG, Informes y evaluaciones de campo del proyecto "Small wind system for

battery charging", Lima, Perú, 1998 – 2001

- ITDG, Informes del proyecto conjunto con PROPERU "Electrificación de un centro educativo y una posta médica mediante SFV en Paraíso-Iquitos, Perú, 2002
- ITDG, Informe final del proyecto "Turbina de río en la amazonía, un proyecto demostrativo", Perú, 1999
- Tesis para optar el grado de Ingeniero Mecánico, Bombas de desplazamiento positivo para molinos de viento, Teodoro Sánchez C., Lima, Perú, 1986
- Curso internacional para la implementación de sistemas eólicos de energía, ECN (Energy Center Foundation), Holanda 1994

¹ Se han hecho propuestas de diseño para la generación de decenas de MW

² "Water Current Turbines, A Field Workers Guide", Peter Garman, ITDG, UK.

³ Shell/Financial Times Environment Award for Appropriate Technology, 1990

⁴ Botes pequeños con motores fuera de borda de 60 a 120 HP de potencia, es el transporte usual entre Iquitos y Mazán, también se les conoce como deslizadores.

⁵ Son botes o canoas fabricadas localmente con motores pequeños (entre 5 a 12 HP de potencia), llevan este nombre al sonido característico de sus motores.

⁶ En Abril de 1996, un equipo técnico del Programa de energía de ITDG y el Ing. Peter Garman de Thropton Energy System (UK), realizaron las primeras mediciones de campo en algunos ríos de la selva: Huallaga, Napo y Amazonas.

⁷ Mazán es la capital del distrito y la ciudad más cercana que cuenta con servicio eléctrico, 4 horas al día a través de un sistema diesel. Se encuentra a 15 minutos de Paraíso en pequepeque

⁸ El costo inicial por el servicio de carga de baterías en Mazán era de 7.0 soles, reduciéndose entre 2.5 y 3.0 soles.

⁹ La idea original fue que una vez probada la tecnología, Peter Garman haría la transferencia a través de ITDG, esto con el objetivo de optimizar los siempre escasos recursos existentes para investigación.

¹⁰ El Programa de energía de ITDG entre 1999 y el 2001, desarrollo un aerogenerador de 100 W cuyo sistema de generación utiliza la tecnología de los imanes permanentes y que se aplicó para el caso de la turbina de río.

¹¹ Se realizó una visita conjunta con representantes de la Dirección Regional de Energía y Minas de Loreto, Ings. Guillermo Ruck y Gonzalo Marina. La DREM-Loreto esta interesado en la disseminación de esta tecnología en comunidades de la selva.



Foto 7: Sistema de TV/VHS en el Centro Educativo Paraíso, Iquitos.

Mayores informes:
Programa de energía de ITDG
energia@itdg.org.pe



**DISTRIBUCIÓN
GRATUITA**

X ELPAH: Esta vez el encuentro será en Brasil

Efectivamente, Poços de Caldas en Minas Geráis, Brasil será la sede que acogerá al grupo de profesionales, investigadores e interesados en el tema de los pequeños aprovechamientos hidroenergéticos, del 4 al 8 de mayo del presente.

Como en oportunidades anteriores la finalidad del mismo es la de presentar diversos trabajos y proyectos de diseño de desarrollo e innovación, tecnología e ingeniería en el campo mencionado a nivel nacional e internacional.

Se trata de una interesante oportunidad para intercambiar experiencias, debatir so-

bre el tema y promover una mayor interrelación académica y profesional.

Entre los temas de tratar podemos enumerar los siguientes:

- Tecnología y desarrollo
- Aspectos legales e institucionales

- Aspectos económicos y financieros
- Generación y medio ambiente
- Energías alternativas

Los invitamos a participar en este encuentro para lo cual podrán acceder a mayor información en el siguiente sitio web: www.elpah.unifei.edu.br

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 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
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-ITDG
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 Chuquipiondo

Diagramación

José Rodríguez

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

X Encuentro Latinoamericano y del Caribe sobre Pequeños Aprovechamientos Hidroenergéticos

Poços de Caldas – Minas Geráis, Brasil
4 – 8 Mayo 2003

El objetivo del encuentro será reunir a investigadores y profesionales del área a fin de presentar diversos trabajos y proyectos de diseño de desarrollo e innovación, tecnología e ingeniería en el campo de los pequeños aprovechamientos energéticos.

Además, realizar debates sobre la realidad de los pequeños aprovechamientos energéticos a nivel nacional e internacional.



Finalmente, otro de los objetivos del encuentro será el de promover una mayor interrelación entre universidades, industrias e instituciones tanto gubernamentales como no gubernamentales.



Mayores informes:

Visite nuestro sitio web!
www.xelpah.unifei.edu.br

Organiza:

Centro de Referencia de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas
cerpch@cpd.efei.br

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, Agroprocesamiento, Riego y Desastres, y las áreas de Investigaciones y Comunicaciones.