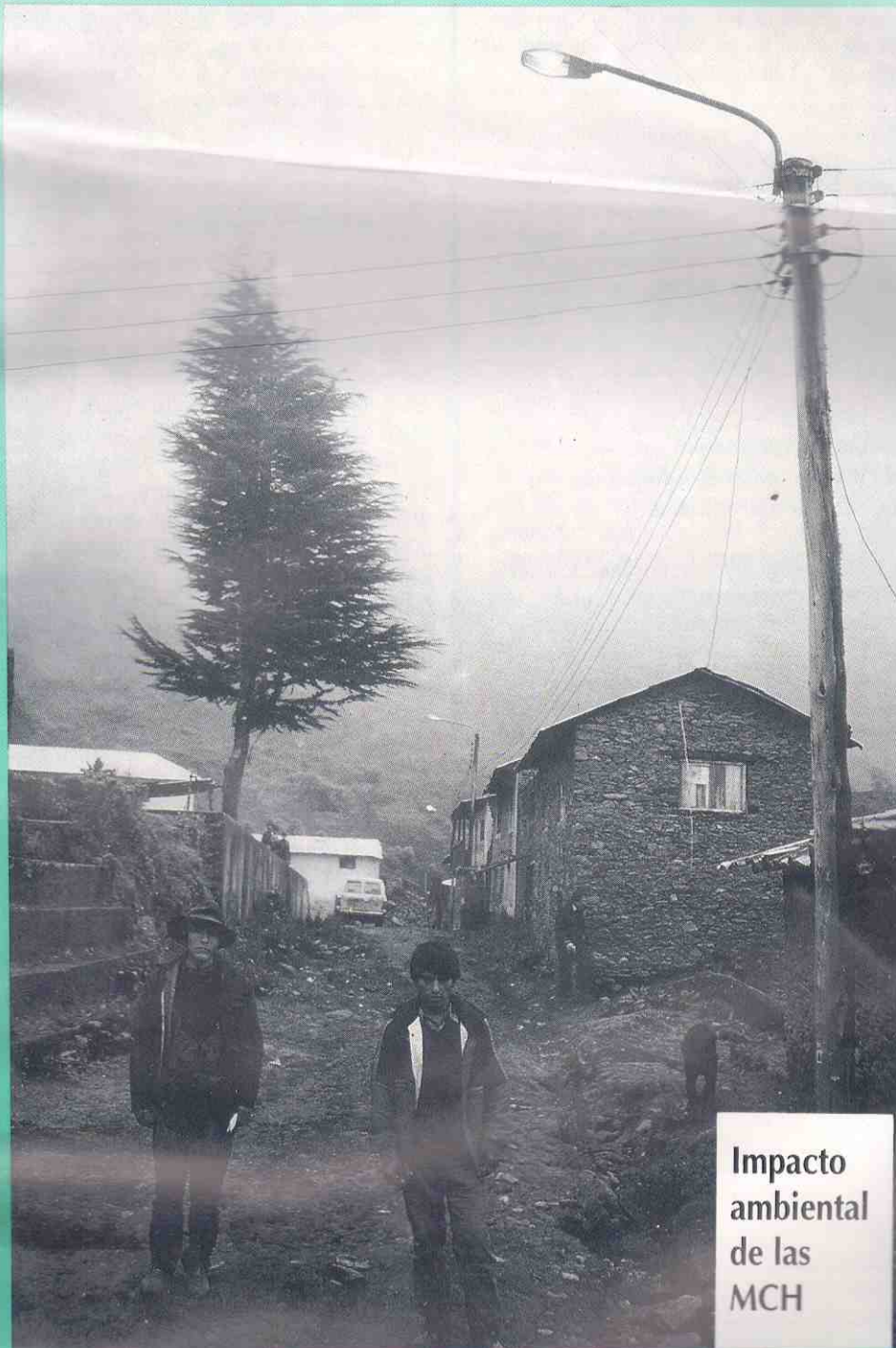


# HIDRORED

RED LATINOAMERICANA DE MICRO HIDROENERGÍA

ISSN 0935 - 0578

3/96



**Impacto  
ambiental  
de las  
MCH**

## **Estimado lector,**

En los últimos años, las distintas metodologías para abordar los estudios de impacto ambiental se han desarrollado, con el objetivo de propiciar un desarrollo sostenible y evitar que los proyectos tengan un impacto irreversible sobre el medio. Se trata de aplicar metodologías sistemáticas que permitan abordar el estudio de cualquier proyecto, previendo efectos medioambientales y proponiendo medidas paliativas. Los estudios de impacto ambiental se desarrollan dentro de un marco legislativo que designa la autoridad competente, la que finalmente dará el visto bueno. En el caso de proyectos de hidroenergía a pequeña escala, los efectos a la luz de los estudios de impacto ambiental suelen ser muy pequeños. Sin embargo, esto era algo ya conocido para aquellos familiarizados con el concepto de tecnología apropiada en su dimensión de minihidro. De hecho en su concepción más general ("small is beautiful") incluía un bajo impacto ambiental en su sentido más amplio; es decir, no sólo sobre flora y fauna, sino sobre personas, relaciones sociales y estructuras productivas. El tratamiento de este problema seguirá en el próximo VII Encuentro, en el que pretendemos trabajar el tema en uno de los foros de discusión. El objetivo es que, entre las conclusiones, surja un esquema metodológico para los estudios de impacto ambiental en minihidro y que sea sencillo, claro y adaptado a las condiciones de Latinoamérica.

Esperamos vuestros aportes.

Gabriel Ibarra



# Evaluación de impacto ambiental en centrales hidroeléctricas a pequeña escala

Gabriel Ibarra Berastegi, Ana Elías Saenz, Javier Caamaño Eraso  
 Universidad del País Vasco

## Introducción

La evaluación del impacto ambiental (EIA) es el procedimiento administrativo-jurídico que en el marco de una legislación específica permite prever, corregir y valorar los impactos que sobre el entorno puede producir un proyecto determinado (1)(2). El núcleo del EIA es el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) que debe incluir:

1. Descripción medioambiental del proyecto y la situación medioambiental preoperacional del entorno.
2. Listado y valoración de las alteraciones o impactos que pueden producirse.
3. Medidas correctoras para la eliminación o minimización de las alteraciones o impactos.
4. Establecimiento de un Programa de Vigilancia y especificación de impactos residuales después de aplicar medidas correctoras.

A continuación, se relacionarán los aspectos más importantes para el caso de minicentrales según los cuatro puntos señalados más arriba.

## Descripción medioambiental del proyecto y la situación medioambiental preoperacional del entorno

Aparte de una descripción somera del clima y de aspectos geomorfológicos de

la zona, sin duda lo más importante es conocer correctamente la situación de las aguas superficiales y subterráneas. Esto supone, por una parte, conocer la curva de caudales clasificados del río y por otra, la situación de los acuíferos que podrían verse afectados por las obras.

En condiciones normales, la calidad de las aguas no se verá afectada por la existencia de la minicentral, pero si existe una presa deberá señalarse en esta etapa ya que su presencia puede afectar a parámetros como la temperatura DBO, DQO y pH. Igualmente, las características preoperacionales del suelo, vegetación, fauna, paisaje y medio social deberán consignarse en esta etapa.

## Listado y valoración de las alteraciones o impactos que pueden producirse

La lista orientativa de posibles impactos (3) se puede analizar en dos etapas:

### A. Construcción

Impacto por la erosión y pérdida de suelo, destrucción de vegetación, comunidades animales, valores paisajísticos, y desviación de caudales por construcción de la presa.

### B. Explotación

Impacto debido al caudal turbinado y desviado del curso natural. Efectos erosivos, cambio en el hábitat y efectos barrera para especies piscícolas.

Una vez realizado el listado, las distintas metodologías para la realización de un EIA proponen el diseño de matrices de impactos versus factores ambientales afectados que serán objeto de una valoración cualitativa y/o cuantitativa (1). El resultado será una valoración global del impacto sobre el medio.

## Medidas correctoras para la eliminación o minimización de las alteraciones o impactos

Uno de los mayores efectos que una minicentral crea sobre el medio es el derivado de la desviación de caudales para su paso por la turbina. Por ello, la principal medida correctora que minimiza el impacto es la correcta selección del caudal que no se va a turbinar y se va a dejar en el curso original. Si no hay más usos adicionales, el objetivo es poder mantener un caudal mínimo que permita el desarrollo de la vida acuática a lo largo de todo el año. Este caudal recibe el nombre de caudal ecológico y deberá tomar en cuenta (3) las características de la vida acuática, los ciclos anuales del río y de las poblaciones piscícolas. El caudal ecológico deberá ser fijado por la legislación vigente.

Lo ideal es que dicha legislación se adapte a los distintos regímenes fluviales que puedan darse en el país. En el caso de Suiza, al tener los ríos un mismo régimen anual, la legislación además de diferenciar entre aguas piscícolas y no,

Tabla 1. Matriz de impactos.

FACTORES / ACCIONES	FASE DE CONSTRUCCIÓN			FASE DE FUNCIONAMIENTO			IMPACTO FINAL
	A1	Ai	An	A1	Ai	An	
F1	I11c	I1ic	I1nc	..	...	..	
Fm	..	...	...	..	...	..	
TOTAL	I1c	I1ic	I1nc	I1f	I1if	I1nf	IMPACTO TOTAL



fija un mismo criterio de caudal ecológico para todos sus ríos. Éste se define como el Q347, es decir, de la curva de caudales clasificados, aquel caudal que es superado al menos 347 días en un año medio.

Otras medidas a tomar en cuenta son las escalas para peces y la insonorización de la central, entre otras.

### **Establecimiento de un programa de vigilancia y especificación de impactos residuales después de aplicar medidas correctoras**

Después de haber implementado las medidas correctoras, deberán valorarse los impactos residuales remanentes que, en minicentrales, son fundamentalmente los derivados de la existencia de una presa, detracción del caudal y efectos sobre el paisaje.

Finalmente, deberá diseñarse un Plan de Vigilancia Ambiental que para el caso de minicentrales, serán fundamentalmente los derivados del uso del agua en cantidad (caudal) y en calidad (parámetros como oxígeno disuelto, DBO, DQO, pH...). Por tanto, el Plan de Vigilancia deberá incluir controles periódicos de dichos factores (y otros que se hayan podido considerar de interés). Igualmente habrá de contemplar comprobaciones periódicas del adecuado funcionamiento del resto de medidas correctoras introducidas en el proyecto tales como escalas de peces, revegetaciones y estabilización de taludes.

### **BIBLIOGRAFÍA:**

- (1) Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental. (2ª edición). V. CONESA FDEZ.-VITORIA. 1995. Ed. Mundi-Prensa.
- (2) Resumen de metodología y legislación para la evaluación del impacto ambiental del proyecto de ingeniería industrial. J. CAAMAÑO ERASO. 1996. Universidad del País Vasco.
- (3) Guía metodológica de evaluaciones de impacto ambiental en pequeñas centrales hidroeléctricas. IDAE. División de energías renovables. Ministerio de Industria y Energía. 1989.

# Procedimientos numéricos para el trazado de los perfiles meridionales de rodetes tipo lento y normal para turbinas Francis

*Dr. Ing. Raúl Olade Font*

## **Introducción**

La determinación de la red de corriente constituye un procedimiento de vital importancia para el cálculo de rodetes lentos, normales y rápidos para turbinas hidráulicas tipo Francis.

El desarrollo vertiginoso de la ciencia ha permitido el surgimiento de nuevas tecnologías con un elevado nivel de automatización. En este fenómeno juega un papel fundamental la elaboración de softwares que facilitan el diseño y la investigación de los equipos a nivel industrial. Muchos de estos se soportan sobre supercomputadoras que garantizan una capacidad de trabajo muy superior a la de las microcomputadoras.

Este trabajo tiene como objetivo relacionar una serie de procedimientos metodológicos que permitirán desarrollar aplicaciones de diseño asistido por microcomputadoras, específicamente para el diseño de los rodetes lentos y normales.

Las metodologías clásicas para el cálculo y diseño de los mismos, difieren dependiendo de las hipótesis en las cuales estén basadas. Realmente, el éxito del diseño de este tipo de turbo-máquina hidráulica depende de la metodología que se elabore, fundamentada con la experiencia del diseñador. Esto es posible a través del perfeccionamiento de la misma mediante la implementación de una serie de procedimientos que permitan modificar la disposición de los perfiles hidráulicos y la introducción de coeficientes experimentales.

Según K. Albrecht [11], partiendo de la deducción de las diferentes formas del impelente, resulta que el cálculo de los rodetes normales puede efectuarse básicamente del mismo modo que el de los lentos. Se seguirá considerando la corriente unidimensional, con lo cual las trayectorias de las partículas de agua están sobre superficies de revolución (superficies de corrien-

te), cuyas líneas meridianas (líneas de corriente) se limitarán según el número de ellas (Nc), para el trazado de la vista meridional se utilizará el método de estudio bidimensional del fluido, mediante el cual se obtiene la configuración del flujo y puede obtenerse el reparto de presiones, de gran interés para el proyectista.

En este trabajo, el diseño de la vista meridional del álabe se desarrolla mediante un método numérico que se basa en la aplicación gráfica de la ecuación de Laplace y en la utilización de varios principios de geometría analítica [4] y matemática numérica [1].

## **Metodología para el trazado de la vista meridional**

### **Método para el diseño de la vista meridional del impelente**

Es evidente que se obtendrán magnitudes más reales en los diferentes parámetros y dimensiones que se determinan en la metodología, dependiendo del grado de precisión que posea el trazado de las líneas de corriente.

Esta precisión está condicionada por el valor que se seleccione en los datos a aportar por el diseñador y que se relacionan a continuación:

- Número de puntos del álabe, (Np)
- Número de líneas equipotenciales, (Ne)
- Número de líneas de corriente, (Nc)

Con ayuda del número de puntos del álabe se puede obtener una red de corriente con mayor precisión, lo que implicaría un significativo volumen de cálculo con la aplicación de la ley de las áreas [9].

Los procedimientos de cálculo que se desarrollan en este trabajo permiten la intro-



ducción de un número de puntos del álabe, de líneas de corriente y equipotenciales que puede limitarse, dependiendo de las aplicaciones a que esté dirigido el mismo.

### Análisis inicial

A partir de los cálculos hidráulicos habituales se dispone del diámetro del rodete ( $d1$ ), del ancho del canal del álabe en la admisión ( $b0$ ) y como referencia del diámetro del árbol ( $d_e$ ) y del cubo ( $d_c$ ) del impelente, dimensiones que permiten elaborar la red de corriente o vista meridional.

### Determinación de la primera línea de corriente

Se asignan dos dimensiones que constituyen la base inicial de este método, las que se denotan como:

- Inclinación del disco delantero, ( $I_d$ )
- Radio del disco delantero, ( $R_d$ )

Ambas se combinan de tal forma que el arco del radio ( $R_d$ ) se corte en un punto tangente con la dimensión  $d3$  (diámetro de evacuación) y en su final (con igual condición) con la línea recta que posee una inclinación  $90^\circ - I_d$  con respecto al eje de las abscisas «x» y se limitaría superiormente en el momento indicado en el valor del diámetro  $d1$  ubicado en el eje de coordenadas «y».

A partir de esto se puede obtener:

$$\Delta y = \frac{R1 - R2}{Ne} \quad (1)$$

Donde:

[R1] = radio del diámetro exterior del impelente ( $d1$ )

[R2] = radio del diámetro de evacuación ( $d3$ )

De esta forma se obtiene la primera línea de corriente con propiedades de función, definida y derivable en cualquiera de los puntos obtenidos en dependencia de  $\Delta y$ . Estas propiedades son indispensables pues a partir de ellas se obtendrá la segunda línea de corriente y en general la totalidad del canal del álabe, cumpliendo en todos los casos la ley de las áreas.

### Determinación del área del impelente (A) en mm.

Dependiendo del valor del diámetro de admisión del rodete y del ancho del canal

del álabe  $b0$ , puede determinarse el área (lateral de un cilindro) en la descarga del mismo [6]. Dicho valor puede obtenerse mediante la siguiente relación:

$$A = \pi \times b0 \times d1 \quad (2)$$

Se calcula el área  $\Delta a$  para cada sección de caudal parcial, la que será igual para cada una de ellas y dependerá de:

$$\Delta a = \frac{A}{Nc - 1} \quad (3)$$

Obteniéndose el área  $\Delta a$  para cada  $\Delta b$  o sección de caudal parcial en la zona de admisión.

Según Sarrate [11], cada una de estas secciones pueden considerarse como turbinas parciales de modo que cada una de ellas admita la misma cantidad de agua.

### Determinación de las secciones de cada turbina parcial o tubos de corriente

En este procedimiento se aplica la ley de las áreas para la forma de corriente en un volumen en revolución, previendo una igualdad de los caudales parciales a lo largo de cada línea equipotencial o normal con arreglo al método Guldin [9], [11].

Para una mejor comprensión se muestra la figura 1, en la que puede observarse una vista parcial de la primera y segunda líneas de corriente, representándose el proceso de obtención de un punto en función de otro, que se realiza tantas veces como líneas equipotenciales se hayan seleccionado para el diseño de la red de corriente.

Se toma un punto  $a3$  que pertenece a la primera línea de corriente el cual va a poseer uno que lo antecede y otro posterior en la misma línea, los cuales se representan mediante  $a2$  y  $a4$ . se traza una recta que

una a los puntos  $a2a3$  y otra para los puntos  $a3a4$ , calculándose el ángulo de inclinación de cada una con respecto al eje de las abscisas «x» (para esto es necesario determinar las pendientes de las rectas). Estos valores se promedian, obteniéndose un ángulo que se ubica a partir de la línea horizontal que se origina del punto  $a3$ , definiéndose la posición de la línea que es tangente al mismo. Al determinarse su diferencia respecto a  $90^\circ$  grados, se obtiene el ángulo  $\varphi$  con el cual se define la trayectoria del nuevo punto  $b3$ , [6].

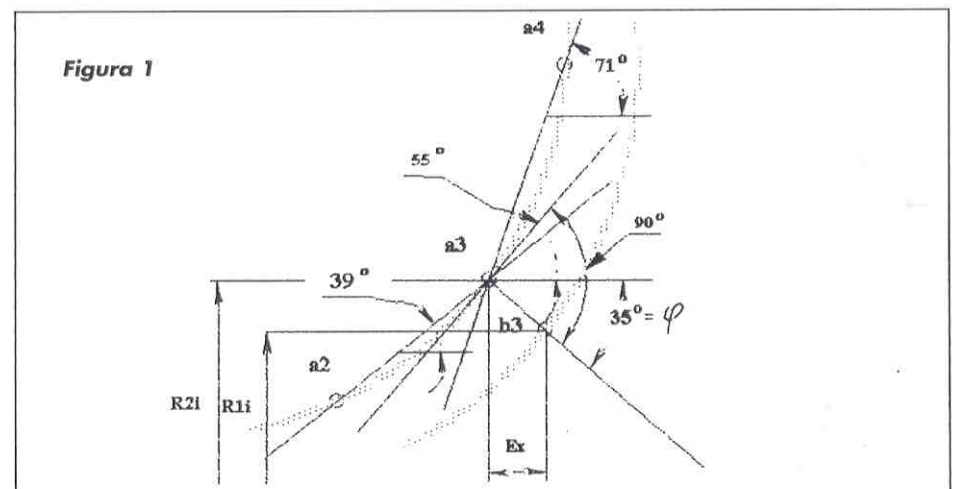
Para obtener las coordenadas en las que se debe ubicar el punto  $b3$ , es necesario tomar como hipótesis que cada sección de la línea normal desarrollada formaría un cono truncado al considerar ambas vistas meridionales del rodete. Conociendo el valor del radio  $R2i$  para cada punto en la línea de corriente 1, definidos con anterioridad por el valor de  $\Delta y$  en el eje de coordenadas «y», se puede determinar un punto de radio  $R1i$ , el cual se ubicaría en la línea normal a la tangente del punto que se encuentra en la curva con la dimensión  $R2i$ .

Este procedimiento se repite para cada punto de la línea  $aa'$  previéndose que en caso de que  $R1$  sea menor a  $R2$  (al invertirse la posición del cono) cambie el signo del segundo miembro de la ecuación a positivo, para lo cual se invertiría la notación de la ecuación a implementar.

Mediante un trazo suave se unen los nuevos puntos formándose la línea de corriente  $bb'$  y así sucesivamente, hasta completar la cantidad de turbinas parciales o tubos de corriente que se definan.

### Corrección de la vista meridional del rodete

En este procedimiento se desarrolla un método que permite variar la disposición de las líneas de corriente modificando de forma general el valor de  $\Delta a$  en cada línea





equipotencial, manteniendo invariable el mismo a la entrada y salida del canal del álabe. Esta corrección se implementa con el objetivo de ampliar las posibilidades de diseño, dando una mayor potencialidad a la metodología desarrollada con fines de investigación. Para ello se hace uso de la función de una parábola:

$$F(\Delta a) = \frac{(X_i - X_1)(X_2 - X_i)}{(X_2 - X_1)^2} \quad (4)$$

En este caso:

[x1] = radio del diámetro de evacuación (d3)

[x2] = radio del diámetro exterior (d1)

[xi] = valor correspondiente a cada R2 definidos por la ecuación (1) para la primera línea de corriente, obteniéndose los valores de la función F(Δa) para cada punto que inicia cada sección de caudal parcial.

El incremento que ha de producirse en el área calculada según la ecuación (2) puede implementarse mediante la siguiente relación:

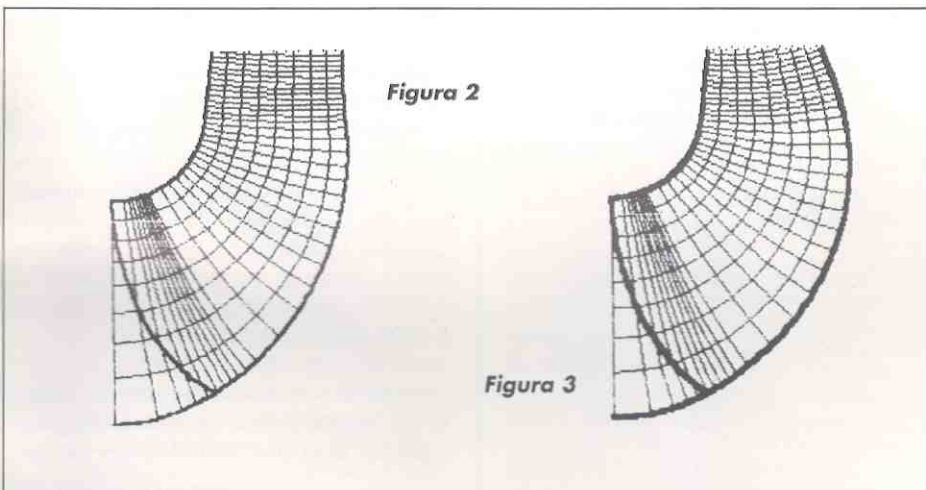
$$K\Delta a = \Delta a + \Delta a \times K_m \times F(\Delta a) \quad (5)$$

Donde:

[KΔa] = área final de la sección parcial con corrección

[Km] = coeficiente de corrección de la vista meridional del rodete que fluctúa con un rango de cero a la unidad

Cabe señalar que a cada línea equipotencial pertenecerá un incremento dado que se adicionará por igual a cada una de las secciones parciales que existan. El resultado de la aplicación de esta corrección puede observarse en la figura 3, suministrándose en este caso en la figura 2 una vista meridional sin corrección.



La combinación de todas estas correcciones que inciden en la proyección de la vista meridional del álabe posibilitan infinidad de variantes que pueden ser fundamentadas por diferentes hipótesis, para lo cual se exige un determinado grado de experiencia en esta temática.

La hipótesis de considerar turbinas parciales de igual caudal implica considerar la pérdida por rozamientos y remolinos constantes para cada salida y admisión parcial, lo que se lograría si el trabajo en cada tubo de corriente fuera el mismo. Para esto, puede utilizarse un procedimiento que para las bombas hidráulicas es imprescindible y es por ello que se considera importante introducirlo en esta metodología, aunque sea para un uso netamente de investigación.

#### Determinación del momento estático de cada línea de corriente (Sest) en mm.

Como puede observarse en la figura 4, para la determinación del momento estático es necesario poseer el diseño de la vista meridional del canal del álabe. Se puede construir dicho canal acorde a la ley de las áreas y con arreglo del método de Guldin [9], obteniéndose un red formada por las líneas equipotenciales y de corriente, con el desarrollo de un método numérico para la obtención del canal y del cual se derivan los siguientes procedimientos:

Denotando a Dri como la distancia de los segmentos verticales definido por el número de puntos (Np) se tiene que:

$$D_{ri} = \frac{d1 - d_{xi}}{2(Np - i)} \quad (6)$$

[Np] = número de puntos del álabe seleccionado por el especialista

[dxi] = diámetros donde se inicia cada línea de corriente en la arista de evacuación del álabe.

Si se denota lxi como los segmentos desarrollados que forman a cada línea de corriente puede relacionarse:

$$l_{xi} = \frac{D_{ri}}{\cos(90^\circ - \arctg m_i)} \quad (7)$$

[mi] = valores de las pendientes de las rectas limitadas en el eje de las ordenadas «y» por la dimensión Dr en la línea de corriente

Designando a Δxi como el resultado de la sumatoria de los lxi en cada línea de corriente se tiene que:

$$\Delta x_i = \frac{\sum_{i=1}^{Np-1} l_{xi}}{Np - 1} \quad (8)$$

Denotando a Δri como los radios de los centros de gravedad de cada segmento desarrollado según [5] y [9] se puede relacionar que:

$$S_{est_i} = \Delta x_i \sum_{i=1}^{Np-1} \Delta r_i \quad (9)$$

El cálculo del momento estático se realizará para todas las líneas de corriente, las que deben ser iguales; en caso contrario, deben corregirse según lo que se indicará en procedimientos posteriores hasta lograr la igualdad necesaria.

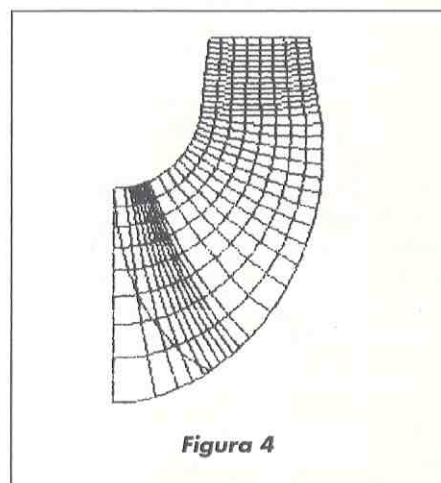


Figura 4

#### Determinación del perfil aerodinámico del álabe en mm.

Es un factor ampliamente tratado en la literatura especializada. En el caso de utilizar planchas soldadas, el espesor de los álabes suele oscilar entre 2 y 10 mm. Si es fundido, depende del nivel de estrangulamiento que exista desde el punto de vista hidráulico y de la capacidad tecnológica de fundición del fabricante; en todos los casos el espesor de los álabes depende igualmente de la experiencia del diseñador.



El uso de alabes con espesor constante simplifica notablemente el cálculo hidráulico. No obstante, la presencia del espesor variable puede reportar resultados satisfactorios siempre que sea usado o seleccionado un perfil adecuado para cada diseño. Para el caso del diseño de bombas hidráulicas Mataix [5], dependiendo del valor del coeficiente de obstrucción a la salida del impelente (T2) determina si es necesario la utilización de álabes con espesor variable (perfiles aerodinámicos), para lo cual se ha establecido las siguientes condiciones:

Si  $T2 > 1.1$  se recomienda el uso de espesor variable afilado a la salida  
Si  $T2 < 1.1$  puede mantenerse el espesor constante

En el caso del diseño del rodete lento o normal, podría implementarse metodológicamente el uso de perfiles aerodinámicos, de manera precisa y eficiente.

Para ello se proponen las siguientes relaciones:

Según [8], denotando a  $K_f$  como el coeficiente de variabilidad del perfil puede establecerse la siguiente relación:

$$K_f = \frac{2R_i - dx_i}{d1 - dx_i} \quad (10)$$

$[R_i]$  = radio para cada punto en mm.

Después de calculado el valor de  $K_f$  puede plantearse la relación siguiente:

$$S_i = S^* \text{Aerod}(K_f) \quad (11)$$

Mataix [5] y Pfeleiderers [9] proponen una serie de perfiles aerodinámicos uno de los cuales se ha modelado matemáticamente en [8] para facilitar la obtención de los diferentes espesores del álabe ( $S_i$ ) en cada sector de radio  $R_i$ .

$$\text{Aerod}(K_f) = k_0 + k_1 * K_f + k_2 * K_f^2 + k_3 * K_f^3 \quad (12)$$

Denotando a  $k_0$ ,  $k_1$ ,  $k_2$  y  $k_3$  como variables matemáticas (en función del perfil) cuyos valores son:

$$k_0 = 1.0618287; k_1 = 1.9733297; k_2 = 1.324283; k_3 = -4.1675158$$

Esta modelación es muy práctica pues se puede obtener cualquiera de los perfiles que sean recomendables y cuya información paramétrica exista, contando con un acceso numérico al diseño de los mismos, a partir de lo cual se lograría una fácil integración con los procedimientos para el trazado del álabe por puntos.

### Conclusiones

Con el desarrollo de estos procedimientos e

integrando a los mismos el diseño de los álabes, lo que puede realizarse mediante el método de coordenadas polares [8], es posible la obtención del modelo tridimensional del impelente en transparencia, lo que puede transformarse en un cuerpo sólido mediante la utilización de un editor gráfico profesional.

En el algoritmo del sistema PUMPCAD versión 1.0 para windows [7] se implementan los procedimientos que han sido referidos en este trabajo, los cuales complementan una metodología de cálculo creada al efecto y que permite obtener el diseño en tres dimensiones del impelente en cuestión, pero sólo para bombas hidráulicas. Este sistema profesional de diseño se aplica en diferentes niveles industriales, siendo uno de sus usuarios la Empresa de Planta Mecánica de Santa Clara y la Unión de Empresas Mecánicas del Ministerio del Azúcar que constituyen los principales productores de bombas hidráulicas y, en el primer caso, el único productor nacional de turbinas.

### Bibliografía

1. Alonso, S. M. *Matemática Numérica*. Ed. Pueblo y Revolución, Cuba, 1982.
2. Church, A. H. *Centrifugal Pump and Blowers*. J. Wiley, New York, 1962.
3. Lazarkiewicz, S. *Impeller Pump*. Warszawa, Polonia, 1965.
4. Lehmann, C. H. *Geometría Analítica*. Ed. Revolucionaria, Cuba, 1965.
5. Mataix, C. *Mecánica de los fluidos y máquinas hidráulicas*. Ed. del Castillo, Madrid, España, 1975.
6. Olalde F. R. y col. "Interpolación polinomial aplicada al diseño de perfiles hidráulicos". En: Revista construcción de maquinarias (1), Cuba, 1994.
7. Olalde, F.R. y col. *Sistema CAD para el diseño de impelentes hidráulicos*. Memorias del Segundo Seminario latinoamericano CAD-CAM, Cuba, 1994.
8. Olalde f. R. *Procedimientos metodológicos para el cálculo hidráulico y trazado de la vista meridional de los impelentes tipo Francis y radial normal*. Tesis doctoral, Publicación Universitaria, UCLV, Cuba, 1995.
9. Pfeleiderer, C. *Bombas centrífugas y turbocompresores*. Ed. Labor, España, 1960
10. Stepanoff, A. J. *Bombas centrífugas y axiales*. J. Wiley and Sons, New York, 1965.
11. Sarrate I. L., Albrecht K. *La Escuela del Técnico Mecánico*. Ed. Labor, S.A., España, 1966.

Dr. Ing. Raúl Olalde Font  
Especialista en Turbomaquinaria  
Jefe de AID de Hidroenergía  
Miembro de la directiva ONG "CUBASOLAR"  
Carretera a Camajani km 5  
54830 Santa Clara, Villa Clara - Cuba  
Teléf. (53-4220) 81194  
Fax (53-422) 81608

## Análisis y perspectivas de la situación energética postguerra en algunas zonas rurales salvadoreñas (2)

Dr. Luis Boigués  
Mauricio Gnecco  
Carlos Zárate

Continúa de HIDRORED 2/96

### La comunidad de Loma Chata

En esta comunidad, que forma parte de la Ciudadela Guillermo M. Ungo, viven 18 familias. En esta región se practica una agricultura de subsistencia, cuyos principales productos son el maíz, el frejol, el sorgo, el arroz, el banano y, en menor grado, el ajonjolí.

Aquí fue instalada en 1994 la primera y única estación piloto de pico-turbina realizada hasta ahora por el Socorro Luterano Salvadoreño. Es muy posible que sea la única de su tipo instalada en el El Salvador, tanto por su rango de potencia como por sus características. Una particularidad de esta estación de pico-turbina de Loma Chata es que está integrada en el sistema de agua potable.

Cada una de las 18 viviendas tiene una lámpara fluorescente de 12V/18 W, aunque son 15 las conectadas directamente por cable a la red de la pico-turbina y en total cuatro viviendas cuentan con una batería para almacenar energía. Durante la época de lluvias, todas las casas cuenta con iluminación y durante la época extremadamente seca sólo se pueden cargar baterías.

Debido a que los moradores de Loma Chata indicaron que en épocas de poca agua las lámparas fluorescentes no ilu-

(sigue en la página 11)

## Resolviendo problemas de lugares apartados

La mini hidrogeneración continúa siendo una opción favorable para el suministro de energía a localidades muy apartadas. Existe un número cada vez más creciente de sistemas de minigeneración hidráulica que están ubicadas a varios días de caminatas de la carretera más cercana para vehículos motorizados o que son sólo accesibles en ciertas épocas del año por carretera debido a las nevadas y lluvias torrenciales durante el invierno. La competencia,

por lo general, los grupos Diesel, tiene altos costos de suministro, los cuales se incrementan en esas zonas remotas.

En dichos lugares, la confiabilidad tiene que ser muy alta; los problemas de congelamiento son comunes y se necesitan técnicas de instalación no convencionales.

El enfoque de esta edición está orientado a los retos de ubicación de las tuberías de presión en áreas remotas, y a las consideraciones de

diseño para tomas en condiciones de congelamiento.

Situación de Internet: la industria de la mini hidrogeneración está haciendo cada vez más un mayor uso de Internet y estamos incluyendo aquí una reseña de lo que se encuentra disponible en la actualidad. Esta reseña nunca podrá ser completa y por eso agradeceremos el envío de información por parte de los lectores para mejorar esta área de rápido desarrollo.

Andy Brown

## Métodos para la prevención del atoramiento con hielo de minicentrales hidráulicas

En el caso de minicentrales hidráulicas que operan en zonas donde ocurre congelamiento, el atoramiento, por hielo puede ocasionar una reducción significativa de la energía generada. El uso de calentadores de las rejillas y circulación de agua son soluciones bastante conocidas. Sin embargo, esos métodos no son muy aplicables a las minicentrales de los países en vías de desarrollo donde el costo y la disponibilidad pueden ser un problema.

El presente artículo considera otras posibilidades, orientándose más a la infraestructura de la toma. La forma del hielo que ocasiona el bloqueo de las rejillas consiste en pequeños cristales de hielo suspendidos en el agua conocidos con el nombre de «chispas de hielo», que se forman a velocidades mayores de 0.6 m/s (Anderson, 1921). Se forman, si la temperatura del agua cae a sólo una fracción por debajo de 0°C. Los cristales se congelarán en las rejillas, mientras se mantenga por debajo del congelamiento y el nivel de hielo continuará formándose mientras que la temperatura del agua permanezca bajo cero. Pero tan pronto como la temperatura del agua suba por encima de este nivel, las partículas de chispas de hielo continuarán creciendo.

En vista de esto, una de las contramedidas más efectivas es estimular y mantener una capa de hielo aguas arriba de la toma, lo cual permite un aislamiento del agua que fluye por debajo. El calor producido por disipación viscosa y el calor latente desprendido durante la formación de los cristales de hielo pueden ayudar a elevar la temperatura del agua por encima de cero, lo que permitirá el crecimiento de más cristales.

Estudios realizados establecen que el agua necesita fluir por debajo de la capa de hielo por 10 minutos antes de que se caliente lo suficiente como para que las chispas pasen de un estado pegajoso activo a un estado pasivo (Ashton,

1982). En vista de esto, no está claro si es factible que este método pueda funcionar en pequeñas centrales de derivación y, en todo caso, tendrá que ser en un lugar específico.

Para el caso de una velocidad del río de 0.1 m/s, se requerirían 60 m de cubierta de hielo aguas arriba. Para un caudal, digamos de 500 lt/s, se requeriría una sección transversal de 5 m<sup>2</sup>, lo cual sería posible en algunos lugares. La capa de hielo se podría formar sin ayuda si la velocidad del agua pudiese reducirse a menos de 0.3 m/s. Para velocidades de flujo por encima de 0.7 m/s, se pueden usar redes de hielo para reducir la velocidad en la superficie del agua, y proveer una matriz para iniciar la formación de capas de hielo estable.

En la central de derivación de Niuppugawa de 1.85 MW en el Japón, se ha usado con mucho éxito unas barreras para prevenir el bloqueo del hielo (Mineta, et al, 1943). Estas barreras consisten en pies derechos de madera unidos a piezas de acero que se instalan transversalmente al río, aguas arriba de la toma. Esta barrera atrapa la masa de chispas de hielo y forma un dique que permite reducir la velocidad superficial del agua e iniciar la formación de una capa de hielo. Existen otros dos métodos disponibles para producir la baja velocidad de flujo necesaria.

Si se trata de proyectar una nueva central, entonces tanto la toma como el azud pueden diseñarse teniendo en mente esta idea. Esto puede significar, por ejemplo, construir un azud ligeramente más alto que lo común, para aumentar la sección transversal de flujo.

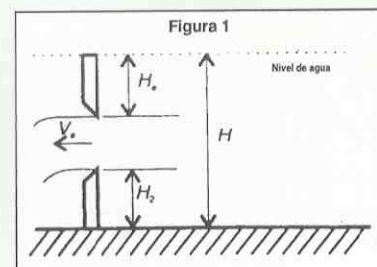
Alternativamente, en el caso de los sistemas existentes, el caudal de la turbina puede reducirse temporalmente durante las épocas de heladas, para dar tiempo a que se forme la capa de hielo estable. Este método ha sido usado en muchas centrales (Ashton, 1982). Sin embargo, todavía no está claro aún hasta

cuánto puede variarse el caudal sin que se altere la cubierta de hielo. El uso de rejillas fabricadas de materiales diferentes del acero y el uso de recubrimientos es otro método de ayuda muy útil, a pesar de que no constituye una garantía en sí para prevenir la formación de hielo.

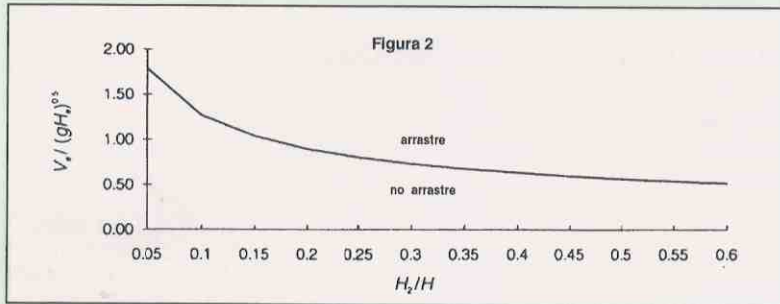
Sin embargo, existen dos ventajas. La primera puede ayudar a reducir la velocidad con la cual el hielo se deposita en la reja. La teoría consiste en que la reja actúa como un sumidero del calor latente entregado por los cristales de hielo cuando se adhiere a su superficie de modo que el uso de materiales de baja conductividad impedirá esto, retrasándose así la formación de hielo (Ashton, 1982). Materiales adecuados de baja conductividad son la madera, plásticos, caucho y recubrimientos de plástico.

La segunda ventaja consiste en que los materiales diferentes del acero pueden hacer más fácil la remoción de hielo. La resistencia de adhesión entre el acero oxidado y el hielo es bien alta y el uso de recubrimientos o un material diferente pueden reducir considerablemente esto. Ensayos de campo realizados sobre rejillas recubiertas con caucho en centrales hidráulicas en Suecia lo han confirmado (Anderson et al, 1944).

De las observaciones precedentes, pareciera que el mejor tipo de toma es la sumergida.



Definición de los parámetros en la reja y la tubería de presión.



La ecuación presentada en forma gráfica nos muestra los límites de arrastre de fragmentos.

La siguiente ecuación que se basa en ensayos experimentales en modelos, nos da una guía limitada considerando la profundidad para colocar la reja y el ingreso a la tubería de presión, para evitar que cualquier superficie rota de hielo pueda ser arrastrada al interior (Ashton, 1982), ver fig. 1.

$$\frac{V_c}{(gH_c)^{0.5}} = 0.4 \left( \frac{H}{H_2} \right)^{0.5}$$

Esta ecuación se representa en forma gráfica en la fig. 2. Si la reja está expuesta al aire, entonces aumentará su efectividad para disipar el calor latente, propiciando con esto quizás que el hielo se deposite en ella. Igualmente la reja se volverá vulnerable al arrastre de fragmentos de superficie de hielo.

Sobre la base de este argumento, una toma del tipo tirolés sería particularmente mala contra el congelamiento, ya que está ubicada muy cercana a la superficie del flujo. Sin embargo, dada la escasez de investigación sobre este asunto, se agradecerá el envío de información por parte de los lectores, en particular sobre la toma tirolesa. Un tercer tipo de toma a considerarse es la nueva reja de efecto Coanda «Aqua Shear» (ver vol. 3, No. 1 de Hydropower & Dams) producida en los EE.UU. por Aquadyne. Por los informes recibidos de los fabricantes y de los usuarios, estas rejas parecen tener una buena resistencia al aumento del hielo.

En la central hidráulica de 850 kW de Bluford Creek en California, la reja no se congeló a pesar de que la temperatu-

ra ambiental era de  $-20^{\circ}\text{C}$  por espacio de una semana. Los ensayos de campo de las rejas en las instalaciones de la Gran Bretaña realizados por Dulas Ltd. han confirmado también esto. Esta reja es recomendable para saltos mayores de 20 m.

## Referencias:

1. Anderson, A., *A field study of frazil ice accumulation and adhesion to trashracks* (PhD Thesis). Lulea University of Technology, Sweden, 1992.
2. Ashton, G.D., *Intake Design for Ice conditions*, U.S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory (CRREL). Ch. 2 in *Developments in Hydraulic Engineering - 5* (P. Novak, Editor), New York, Elsevier Applied Science, 1988.
3. Mineta, M., Yamazaki, M., and Hirayama, K., *A field study of ice control structure on river rapids*. Proceedings, 12th IAHR International Ice Symposium, Trondheim, Norway, 1994.
4. Andersson, A. and Andersson, L-O., *Frazil ice formation and adhesion on trashracks*. Proceedings, 11th IAHR International Ice Symposium, Banff, Alberta, Canada, 1994.

## Uso de helicópteros en proyectos de minicentrales apartadas

El transporte de tuberías de presión a la zona de ubicación de los sistemas de mini hidrogenación en áreas apartadas implica a menudo la tarea de optar entre la construcción de una carretera, trochas temporales de acceso, uso de cargadores o de helicópteros.

En centrales muy pequeñas, donde no se necesitarán vías de acceso para la operación y mantenimiento de la planta, el uso de helicópteros puede ser una buena opción. Sin embargo, existen una serie de limitaciones, siendo la más

importante el costo del transporte. A pesar de que existen máquinas que pueden levantar y transportar 16 ton, éstas son raras y muy caras en su empleo.

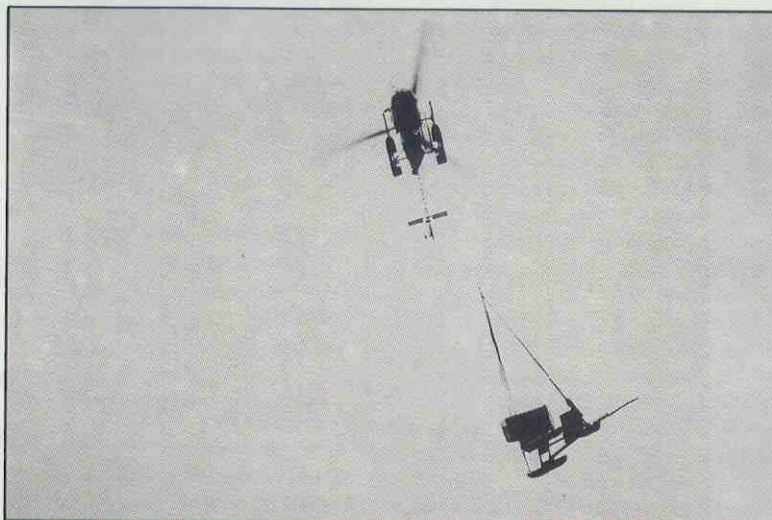
Los servicios de alquiler de helicópteros mencionan que 500 kg es el peso mayormente solicitado teniendo a los 1000 kg como el tope superior dentro del rango popular. En localidades tales como las faldas de los Himalaya en Nepal y la India, la alternativa es el empleo de personal cargador cuyo límite de carga es, por lo

general, de unos 50 kg, con la posibilidad de cargar 100 kg pero muy lentamente. Los costos de los cargadores son muchísimo más bajos que los de un helicóptero y las tuberías pueden colocarse con exactitud. Pero, por lo general, también ocurre que se necesita más tiempo, además de los problemas de seguridad y administración.

Sin embargo, en muchos proyectos la mano de obra barata no es una opción y los helicópteros resultan ser la alternativa más barata. Las cargas pueden izarse o transportarse en la bodega. Las condiciones del viento, y en particular la turbulencia, son críticas en cualquier caso, pero se pueden tolerar velocidades bastante altas de viento si es que las cargas se transportan dentro de la máquina.

Los helicópteros tienen por lo general un cielo de operación de unos 3000m y un cielo más bajo para maniobrar, lo cual es necesario si las cargas están izadas. El cielo real depende entonces del tipo de helicóptero y de carga.

Los helicópteros se desplazan rápidamente: el tiempo que se toma para izar, transportar, descargar y regresar una carga en una distancia de 1 km puede ser tan breve como 5 min. En áreas donde el ambiente se puede alterar debido a que el transporte terrestre



Un helicóptero puede ofrecer la mejor solución para transportar equipo pesado o una MHC en un lugar aislado. (Cortesía de B.J. Aviation Ltd, Welshpool, Powys, UK.)



requiere de la construcción de una costosa carretera o cuando son altos los costos de rehabilitación de los daños dejados por la maquinaria pesada, el helicóptero puede ser la mejor opción pues ocasiona un daño mínimo.

## Costos

Los costos dependen del vuelo del helicóptero hacia el lugar, del número de horas de vuelo en el lugar, del personal y del combustible. Los costos de traslado hacia el lugar tienden a estar entre los US\$1500 y US\$12000 para los lugares apartados; las horas de vuelo en el rango de US\$15/min para máquinas pequeñas y más de US\$150/min para las máquinas grandes. Los costos de personal y de combustibles ascienden a un valor añadido de un 10% del total.

Para el transporte de tuberías de presión o de plástico, el valor de US\$275/ton/km puede tomarse como un buen punto de partida.

## Caso de estudio

Un consorcio formado por Project-Consult y SKAT está ejecutando un

proyecto hidráulico de 150 kW en Buala en la isla de Santa Isabel en las Islas Salomón. El proyecto está financiado por el gobierno alemán a través del apoyo técnico de GTZ y será encargado en julio de 1996.

El sistema tiene un salto bruto de 250 m y usa una tubería de presión de aproximadamente 1000 m. La compañía encargada de la obra civil decidió usar un helicóptero para transportar la tubería de presión desde la carretera hasta la zona de la cámara de carga. Los tubos levantados por el helicóptero tenían una longitud de 5.5 m con un peso total de 200 ton.

Para este propósito se alquiló un gran helicóptero de origen ruso, con una capacidad de carga de 5 ton, de un aeropuerto de una isla vecina. La carga era inusualmente grande y se tuvo que traer redes especiales desde Nueva Zelanda para contener los tubos en el cabestrillo debajo del helicóptero.

La tripulación del helicóptero logró transportar todas las 200 ton de tubos en 45 viajes, durante siete horas de vuelo.

Los costos de traslado del helicóptero incluyendo el del personal, combustible y tiempo de vuelo en la región fue US\$30 000, lo cual representa unos US\$150/ton. Como resultado de algunos problemas comerciales, muchos tubos fueron transportados por cargadores, de modo que se pudo hacer comparaciones.

A los cargadores se les pagó alrededor de US\$ 5/día. La experiencia condujo a las siguientes observaciones:

- Los problemas logísticos para el transporte de combustible al lugar así como la contratación de 40 trabajadores para operaciones de carga y descarga fueron significativos.
- Las condiciones del tiempo tenían que ser favorables.
- La seguridad de los trabajadores en el lugar mejoró significativamente ya que la colocación de los tubos tuvo que hacerse en forma manual.
- El costo de transporte usando mano de obra local fue considerablemente menor que usando un helicóptero.

## Información sobre hidrogenación en pequeña escala en Internet

Este artículo expresa la situación actual de la información sobre la energía hidráulica en Internet, después de una breve introducción para cualquier lector que todavía no está familiarizado con esta tecnología.

Para acceder a Internet y a la red, un usuario necesita tener acceso al llamado suministrador de Internet; muchas compañías suministran ahora dicho servicio. El suministrador de Internet, por lo general, brinda el *software* para operar el computador del usuario, el cual da el acceso a Internet. El usuario necesita entonces un computador con un *modem* (o cualquier otra conexión) para crear la conexión al sistema de computación del suministrador de Internet.

Existen muchos componentes de Internet, que incluyen grupos de noticias, conferencias y la red. Esta última es la más fácil de usar y se está convirtiendo cada vez más en el área principal para la diseminación de la información. La red está compuesta de la interconexión de varios cientos de computadores («lugares») a través del mundo que corren *software* compatibles, de modo que existen muchas referencias cruzadas entre los lugares. La información se presenta en una combinación de formatos gráficos y textos usándose un lenguaje común de interfase.

Para el propósito de esta reseña, las palabras claves usadas para la búsqueda fueron: *small hydropower and micro hydropower*, buscando dos o tres palabras de cada fase. La búsqueda inicial se hizo para la información de la red, usan-

do varios de los diferentes así llamados sistemas de búsqueda, lo cual dio una variedad de resultados.

El primer sistema de búsqueda, conocido como Yahoo, dio una referencia a una «pequeña exhibición de arte de una antigua central hidráulica» en los EE.UU. Esto demuestra la dificultad para especificar con claridad las materias sobre las cuales se requiere realmente la información.

El sistema de información *Lycos* fue mucho más exitoso en ubicar una información útil. De un grupo de más de 50 respuestas, habrán alrededor de 20 ítems de algún interés para ingenieros de hidrogenación en pequeña escala. El tercer sistema de información, *Excite*, daba información principalmente sobre sistemas y experiencias canadienses sobre hidrogenación. La Web Crawler nos dio algunas referencias útiles y otras poco útiles sobre artículos y referencias. A continuación viene alguna breve información sobre algunos lugares (es decir, referencias tal como están indicadas por los sistemas de información) que luego fueron examinados.

El lugar Source Web contiene una buena cantidad de referencias sobre energías renovables, y a pesar de que las páginas del índice no contienen ninguna referencia sobre hidrogenación, existen varias páginas de información sobre hidrogenación en pequeña escala.

*Solstice* es un sistema de información electrónica sobre energías renovables y energía operada por el Centro de Energías

Renovables y Tecnologías Sostenibles (CREST), una organización auspiciada por el gobierno de los EE.UU. Dentro de la gran cantidad de información disponible por *Solstice* había algunos ítems relacionados con la mini hidrogenación. Esto incluye referencias sobre tres perfiles de proyectos de centrales hidráulicas en Honduras, los EE.UU y Nueva Zelanda.

Estos proyectos varían en capacidades de 8 a 56 MW. Los perfiles eran muy breves: cuatro a ocho líneas de texto general y una fotografía que no era muy útil aparte de informar al usuario que los proyectos existen.

*Solstice* también tenía ítems sobre, por ejemplo, el impacto ambiental de la mini hidrogenación y la teoría básica sobre la hidrogenación. Estas páginas fueron similarmente cortas y deficientes en información seria. Varias instituciones de investigación y universidades han empezado a proveer a la red de páginas de información sobre sus actividades y facilidades, con fines tanto de publicidad como de difusión. Ejemplos de ítems que se encontraron fueron las descripciones del trabajo que se está realizando en las universidades de Nottingham y Swansea, del Reino Unido, sobre sistemas de micro hidrogenación. La información incluye contactos, si se desea obtener mayores detalles. Para alguien que es nuevo en este campo, esta información podría ser muy útil. Había también referencias sobre libros, artículos, conferencias y otros lugares de la red donde podría encontrarse mayor información. Por

ejemplo, una referencia sobre la conferencia de Energías Renovables para el Desarrollo realizada en África en octubre de 1995 incluía artículos sobre el desarrollo de la hidrogenación en pequeña escala en la región del sub Sahara. También se incluían en este artículo referencias y contactos.

NLightN es una organización comercial que suministra un servicio de noticias que puede ser consultado para tópicos específicos. No muy recientemente, la búsqueda sobre la mini hidrogenación ha generado recientemente nuevos

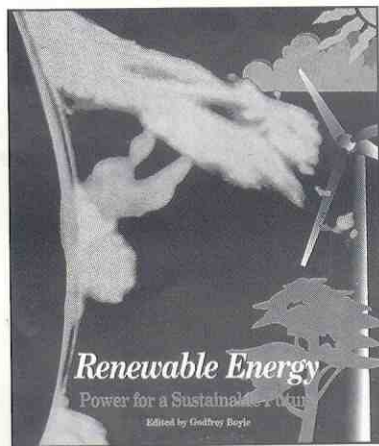
items, tal como la cancelación del Proyecto Arun III en Nepal. Detalles de cada ítem pueden ser revisados pero a condición del pago de un derecho.

La búsqueda sobre algún grupo de noticias y conferencias de Internet reveló algunos pedidos de información y respuestas sobre el diseño y construcción de microcentrales, dentro de una cantidad de artículos irrelevantes, principalmente a nivel de lo que se puede construir en un convertizo de jardín.

En general, obtenemos la impresión de que mientras parece existir una gran can-

tividad de información interesante disponible para todos, la mayor parte es bastante breve y sin importancia. Sin embargo, podría haber un útil intercambio de información y los ítems breves podrían dar puntos de contacto útiles para gente que busca mayor información.

Si los lectores pueden recomendar algunos casos que puedan ser particularmente importantes para los usuarios de la mini hidrogenación, recibiremos con agrado esta información para su publicación en ediciones futuras en este suplemento.



## Revisión de libros

«Energía para un futuro sostenible»  
Editado por Godfrey Bayle,  
Oxford University Press,  
ISBN 0-19-856451-1, 479 pag.  
Precio RU 22.50 libras esterlinas

Esta obra, recientemente publicada, probablemente se convierta en una fuente importante de consulta sobre las energías renovables. El editor ha reunido el trabajo de diez autores, quienes han cubierto el espectro completo de las energías renovables, con capítulos sobre olas, mareas e hidrogenación, así como energía solar térmica, foto voltaica, biomasa, geotérmica y eólica.

El libro ha sido editado por el curso de energías renovables de la Open University del Reino Unido y a pesar de que se concentra a menudo en la situación del Reino Unido, todos los

capítulos también cubren una perspectiva global en la historia, la situación actual y el probable futuro de la energía, mientras que el primer capítulo da una útil visión general.

Se presenta también un apéndice con muchos datos valiosos sobre costos y estimación de recursos y un capítulo describiendo las dificultades de su integración en el futuro al sistema de redes. Además de la presentación de los principios científicos de cada recurso, todos los autores han planteado los aspectos importantes sobre el impacto ambiental y el comportamiento económico en cada caso.

Los tres capítulos sobre la hidrogenación, energía de las mareas y de las olas, ofrecen nuevos puntos de vista sobre estas materias. El capítulo sobre la energía de las mareas se ocupa con algún detalle de este discutible recurso, el cual observaría por cierto las energías de la generación hidráulica si se resolviera alguna vez los obstáculos ambientales y los problemas relacionados con la escala de los sistemas. Las horas térmicas de la energía de las olas están claramente explicadas y la variedad de artefactos que se presentan debe llevar grandes esperanzas para el futuro de esta tecnología. El capítulo de hidrogenación, a pesar de no ofrecer novedades técnicas a los especialistas, presenta un resumen histórico interesante, nuevas y recientes ilustraciones y diagramas claros (con la excepción del molino Norse que no podría rotar tal como esta dibujado).

Se discuten muchos aspectos, desde los molinos mecánicos de arroz hasta

sistemas por bombeo. También se dan palabras muy optimistas sobre la hidrogenación. En concordancia con el espíritu de la obra orientado hacia el futuro, hubiésemos preferido ver menos espacio dedicado a la historia y más a los aspectos ambientales. Hay libros similares y hemos contribuido a muchos, pero estamos impresionados con éste. Su precio es razonable y es una referencia general muy útil para la industria, con un material de lectura de educación e inspiración para aquellos que deseen participar en la actividad del próximo siglo.

La comunidad académica estará muy interesada en el paquete complementario de fuente multimedia. Finalmente, hay una observación interesante sobre el capítulo de hidrogenación. Hay mucho de verdad en la observación de que todos los productores de energía hubiesen deseado haber invertido en hidroelectricidad hace veinte años; pero desafortunadamente no pueden hacerlo ahora y mantienen el mismo punto de vista desde hace veinte años.

### Mini Hydro Power Group

Este suplemento ha sido recopilado por el Mini Hydro Power Group (MHPG), asociación conformada por las siguientes organizaciones:  
The Swiss Centre for Development Cooperation in Technology and Management (SKAT); Association for Appropriate Technology (FAKT), Alemania; Intermediate Technology Development Group (ITDG), Reino Unido; y, Projekt-Consult (PC), Alemania.

#### Comité Editorial

A. P. Brown (Editor-coordinador)  
R. Metzler (FAKT)  
T. Scheutlich (PC)  
R. Widmer (SKAT) y  
A. B. Harvey (ITDG)

Este suplemento ha sido financiado por la Environment & Forestry Dept., Swiss Development Cooperation.

## La Agencia Internacional de Energía (IEA) aprueba iniciativa para educación y entrenamiento

El Comité Ejecutivo de la Agencia Internacional de Energía (IEA) se reunió en París del 25 al 26 de marzo, y dio su aprobación para una iniciativa de educación y entrenamiento en el campo de la hidroenergía. Actualmente sólo están involucrados el Japón, Suecia y Noruega. El propósito es producir recomendaciones para las universidades y otras organizaciones, lo cual mejorará y actualizará los esfuerzos de educación y entrenamiento en este campo. El profesor D.K. Lysne de la Universidad Noruega de Ciencia y Tecnología en Trondheim, dirigirá este trabajo.



(viene de la página 6)

minaban pese a que escuchaban el “zumbido” del alternador, se procedió a calcular las características del sistema. La posible falla del sistema es la reducida velocidad del alternador. Como solución, se planteó el cambio de la rueda Pelton por una más pequeña, para así alcanzar el rango de velocidad adecuada del alternador. Para realizar este cambio se tomó una rueda demostrativa pelton fabricada por la FDTA y traída desde Colombia. Los

pocos trabajos adicionales mecánicos de este cambio fueron encomendados al Instituto Tecnológico de Centro América (ITCA) en San Salvador. Los miembros de la misión supervisaron estos trabajos.

En entrevistas con los moradores y representantes de Loma Chata y con el operador del sistema de la pico-turbina se pudo constatar que esta tecnología ha sido muy bien aceptada por la comunidad y bien asumida por el operador. Así lo eviden-

ciaron los cambios técnicos de autoayuda (ajuste y cambio de tobera, etc.) realizados por el operador y las preguntas específicas manifestadas.

No existe un cobro por el suministro de energía eléctrica, ni para el suministro directo ni por la cargada de baterías. La falta de un cobro por el suministro de energía ocasionará un posible colapso a corto plazo, debido a que no hay acumulación de medios económicos para

CUADRO 5

Ficha de datos de los lugares visitados, mediciones del potencial hidroenergético, usos y aplicaciones potenciales

Nombre del sitio	Sicahuite, Chalatenango	La Chácara	Cañal de la Coop. “Victoria de nuestros Héroes”	Villa El Rosario
Nombre de la corriente de agua	Río Sicahuite	Río Chácara	Río Araute	Río Araute
Caudal instantáneo medido	Q = 25 l/s	Q = 140 l/s	Q = 250 l/s	Q = 250 l/s
Altura bruta	H = 60 m	H = 15 m	H = 6 m	H = 50 m
Longitud de canal ; tubería	Lc = 1,000 m; Lt = 100 m	Lc = 1,000 m; Lt = 100 m	Lc = 500 m	Lc = 1,000 m; Lt = 300 m
Potencia	P = 7.5 kW (eléctrica)	P = 8.8 kW (eléctrica)	P = 4.5 kW (mecánica)	P = 65,0 kW (eléctrica)
Usos de la energía	Iluminación, refrigeración, recreación, procesamiento de tomates	Desgranadora de maíz, molino de maíz, trapiche, cargado de baterías, carpintería, electricidad	Trapiche, carga de baterías, procesamiento de cereales	Interconexión a la red y/o electricidad para Coop. “El Progreso” y posible centro turístico

Nombre del sitio	Caserío Las Marías	Plataneros	El Hoyito	San Luisito
Nombre de la corriente de agua	Quebrada Guanaste	La Banderillas	Río Sapo	Río Grande
Caudal instantáneo medido	Q = 12 l/s	Q = 160 l/s	Q = 1,000 l/s	Q = 100 l/s
Altura bruta	H = 15 m	H = 25 m	Pendiente m = 7 %	Pendiente m = 5 %
Longitud de canal ; tubería	Lc = 200 m; Lt = 40 m	Lc = 0 m; Lt = 35 m	Según sitio a seleccionar	Según sitio a seleccionar
Potencia	P = 0.5 kW (eléctrica)	P = 20.7 kW (eléctrica)	Según sitio a seleccionar	Según sitio a seleccionar
Usos de la energía	Cargado de baterías	Trapiche, procesamiento de frutas, maíz, café y maderas, electricidad	Generación de electricidad para parte de la comunidad Segundo Montes, procesamiento de granos	Generación de electricidad, procesamiento de granos, frutas, leche

CUADRO 6

Comunidad: La Chácara		
Ítem	Planta Diesel	Microcentral hidroenergética
Potencia	9.5 kW	8.8 kW
Gastos de inversión	US\$ 5,000	US\$ 17,6000
Vida de la planta	5 años	20 años
Energía producida	38,190 kWh/a	38,190 kWh/a
<b>Costos operativos anuales</b>		
Depreciación	1,000	880
Intereses (12%)	600	2,112
Operario (US\$ 120/mes)	1,440	1,440
Mantenimiento y reparación	750	660
Combustible (diesel)	4,824	
Administración	861	505
Otros	861	505
Total de costos operativos	10,336	6,102
Costo por kWh-productado (sin impuestos, etc.)	0.27 US\$ /kWh	0.16 US\$ /kWh



afrontar las situaciones necesarias (mantenimiento, etc.) y menos aún las eventuales (reparaciones, cambios, etc.). La misión hizo las variantes y recomendaciones a la comunidad de Loma Chata para iniciar el cobro del suministro de energía.

En el cuadro 5 se muestra la síntesis del análisis hidroenergético de los lugares pre-seleccionados por SLS.

### Comparación económica de alternativas energéticas para una comunidad específica: La Chácara

En cuanto al análisis económico, en el cuadro 6 se muestra una comparación de DOS alternativas energéticas específicamente para una de las comunidades visitadas: La Chácara. En este análisis se muestran los costos comparativos de la alternativa del equipo Diesel *versus* la micro central hidroenergética.

Como podemos apreciar, la alternativa de la microcentral hidroenergética tiene un costo específico por kWh más barato que el de la alternativa del equipo Diesel, aunque tiene la desventaja de requerir mayor inversión inicial que el Diesel (casi 3.5 veces más). A largo plazo, la microcentral hidroenergética es más rentable

que el Diesel, pero la inversión inicial es muy alta. A ello se le suma las posibles dificultades de una comunidad rural como La Chácara, para tener acceso a un crédito para una microcentral hidroenergética sin las garantías del caso (terrenos, etc.).

Como vimos, a largo plazo la micro central hidroenergética es más rentable que el equipo Diesel; pero observamos que la otra alternativa de suministro de energía sería la conexión a la red eléctrica, la cuál tiene actualmente precios por kWh muy por debajo del de la microcentral hidroenergética. Si bien vemos que, por un lado, la red eléctrica tiene un precio por kWh mucho más barato que el de la microcentral, por otro lado tenemos que llegar a esta comunidad no está en los planes de ampliación de la red. Esto se debe especialmente al bajo factor de utilización que se puede esperar de la red eléctrica, que no justificaría una inversión en dicha ampliación. Si llegase por decisión especial de las empresas eléctricas, sería siempre con los costos adicionales del tendido de líneas de transmisión, lo que elevaría el precio por kWh, siempre que este precio no se distorsionara por subvenciones/donaciones.

Resumiendo, observamos que este pre-análisis económico arroja como alternativa factible la instalación de una microcentral hidroenergética para la comunidad La Chácara. Ello, sumado al potencial de usos productivos que se identificaron durante la visita, permiten predecir la sostenibilidad económica de la microcentral. Las aplicaciones finales identificadas para La Chácara son:

- Desgranado de maíz
- Molienda de maíz
- Trapiche de caña de azúcar
- Carpintería
- Cargado de baterías
- Electricidad para la comunidad

### Potencial económico del procesamiento de productos agrícolas

Se pudo observar que el procesamiento descentralizado de productos agrícolas es mínimo. Generalmente se procesa en grandes centros de procesamiento ubicados en las ciudades. Con ello se transfiere la generación de valor agregado del campo a los centros urbanos y se priva de materias supuestamente "residuales" (como la cáscara del arroz, etc.) a la familia campesina.

CUADRO 7

Comparación económica para la producción de arroz para una manzana (7,000 m <sup>2</sup> ), el tiempo vegetativo del arroz es de 9 meses		
Ítem/Costos	Arroz sin procesar	Arroz procesado
Arrendamiento de tierra	200 Colones	200 Colones
Preparación de suelo	300 Colones	300 Colones
Insumos	1,200 Colones	1,200 Colones
Mano de obra	800 Colones	800 Colones
Cosecha	1,100 Colones	1,100 Colones
Secado	200 Colones	200 Colones
Almacenamiento	200 Colones	200 Colones
Transporte	280 Colones	280 Colones
Bolsas	—	202 Colones
Descascarado	—	935 Colones
Transporte en bolsas	—	438 Colones
<i>Suma de costos directos</i>	<i>4,280 Colones</i>	<i>5,855 Colones</i>
Préstamo/crédito	2,500 Colones	2,500 Colones
Intereses (20%)	500 Colones	500 Colones
<i>Suma de costos indirectos</i>	<i>3,000 Colones</i>	<i>3,000 Colones</i>
<b>TOTAL DE COSTOS</b>	<b>7,280 Colones</b>	<b>8,855 Colones</b>
Venta de arroz en cáscara	10,725 Colones	—
Venta de arroz limpio	—	19,140 Colones
Venta de miga	—	1,380 Colones
Venta de miguilla	—	100 Colones
<b>TOTAL DE INGRESOS</b>	<b>10,725 Colones</b>	<b>20,620 Colones</b>
<b>UTILIDAD NETA (Colones)</b>	<b>3,445 Colones</b>	<b>11,765 Colones</b>
<b>UTILIDAD NETA (US\$)</b>	<b>396 US\$</b>	<b>1,352 US\$</b>

Nota: 8.7 \$ Colones son equivalentes a 1 US\$



Para visualizar el potencial económico existente en el procesamiento, durante el seminario-taller se realizó el siguiente ejercicio. Luego de identificar los productos agrícolas procesables, se seleccionó un producto: el arroz. En el cuadro 7, se compara el arroz sin procesar con el arroz procesado. Los datos de costos y porcentajes de subproductos fueron proporcionados por personal del SLS.

Como podemos apreciar, el potencial económico del procesamiento del arroz es muy significativo. Es necesario subrayar que este potencial económico es independiente de la escala de procesamiento, pero el procesamiento descentralizado a pequeña escala ofrece casi las mismas ventajas económicas, además de que el valor agregado y su propia generación son realizados y se quedan en el campo. Adicionalmente permite que las llamadas materias "residuales" (como la cáscara del arroz) queden en el campo y sean aprovechadas por la familia campesina.

### La capacidad local en la integración de la energía en el desarrollo rural

Durante la misión se analizó las condiciones actuales y las potencialidades de

la capacidad local para atender la creciente demanda de energía en el campo, especialmente considerando unidades descentralizadas de suministro energético. El cuadro 8 muestra un resumen de este levantamiento de capacidades locales.

### Recomendaciones generales

Tenemos resumiendo las recomendaciones generales de la misión:

- Integrar, previo análisis económico, el aprovechamiento de la hidroenergía a pequeña escala en los sistemas de agua potable por gravedad, instalados o por instalar por el Socorro Luterano Salvadoreño. Es posible una reducción de los costos de las obras civiles (por ejemplo, tamaño de tanques para romper la presión), además de la generación de energía.
- Capacitar y fortalecer el equipo encargado de los sistemas de agua potable en la tecnología para la integración del componente hidroenergético en los sistemas de agua potable.
- Integrar las técnicas de análisis económico y de rentabilidad en los programas de apoyo y cooperación

- con las comunidades rurales.
- Incluir el componente de procesamiento dentro de los programas de apoyo y cooperación con las comunidades rurales. El potencial económico, por ejemplo en el caso del arroz, justifica integrar el procesamiento.
- Incluir el componente de comercialización dentro de los programas de apoyo y cooperación con las comunidades rurales.
- Implementar la propuesta de programa para la integración del componente energético en los programas de desarrollo rural elaborada por los participantes durante el seminario-taller, luego de ser aprobada por los órganos directrices del Socorro Luterano Salvadoreño.
- Iniciar el intercambio de experiencias con instituciones y entidades de la región latinoamericana. En especial, con la red latina de hidroenergía HIDRORED, que agrupa a organizaciones que trabajan especialmente en el sector de energía para el desarrollo rural, y establecer contacto con organizaciones y redes internacionales del Asia y Europa para aprovechar el *know-how* existente en esas regiones.

CUADRO 8

Tipo de organización	Capacidades, potencialidades
Talleres de fabricación y de alto nivel tecnológico (por ejemplo Moldtrock) en grandes ciudades	Personal capacitado, buena infraestructura, maquinaria adecuada, trabajos de precisión, tratamiento térmico
Talleres pequeños de mantenimiento y reparación en zonas rurales y centros urbanos	Servicios de metalmecánica liviana, posible reparación de equipos energéticos, ciertas limitaciones en maquinarias, reparación de maquinaria agrícola, refrigeración, automotriz, etc.
Almacenes y expendios de grandes ciudades y de centros urbanos	Venta de diversos equipos y elementos: automotrices, maquinaria agrícola, materiales de construcción, metales ferrosos y no ferrosos, productos químicos
Centros de capacitación y enseñanza tecnológica (por ejemplo UCA)	Personal docente capacitado, buena infraestructura, maquinaria adecuada, áreas de medición y testeo, especialidades de refrigeración
Centros de investigación y enseñanza de alto nivel (por ejemplo UCA)	Personal docente altamente calificado en sistemas energéticos de grandes potencias, <i>know-how</i> en hidroenergía, servicios de consultoría en instalaciones mayores de 200 kW, centro de información
Organizaciones de apoyo y cooperación para el desarrollo rural (por ejemplo SLS, Sabes, etc.)	Personal calificado para implementación de proyectos humanitarios, poco conocimiento sobre componente energía y generación de valor agregado, financiamiento externo de actividades y proyectos
Entidades locales de financiamiento (por ejemplo bancos y fundaciones de crédito)	Programas interesantes de financiamiento, áreas parciales de producción seleccionadas, altas garantías exigidas
Empresas eléctricas y de suministro energético	Personal calificado, buena infraestructura, programa de electrificación prioritario para centros urbanos, energía rural sólo en base a electricidad, aprovechamiento de grandes potenciales y no de micropotenciales



# Un avance en la regulación de motores de inducción operando como generadores

Mark Hayton

El uso de los generadores de inducción operando, a la inversa, como generadores no constituye una nueva tecnología, en especial en el mundo de la micro hidrogeneración. Se les conoce como IMAG «Motores de Inducción como Generadores». En el caso de Indonesia, la posibilidad para un mayor desarrollo de estos sistemas ha mejorado enormemente con la reciente introducción de los «Controladores de Generadores de Inducción» (IGC). A continuación, presentamos una breve introducción a los (IGC) en Indonesia.

Los sistemas de motores de inducción como generadores poseen muchas ventajas sobre los sistemas convencionales síncronos y tienen particular importancia en los proyectos de microgeneración por debajo de los 30 kW. Podemos citar las siguientes:

- Mayor facilidad de adquisición que los generadores síncronos.
- Se les usa para aplicaciones industriales y se fabrican para satisfacer los estándares industriales garantizando los niveles aceptables de confiabilidad.
- Están disponibles en una variedad de tamaños partiendo de potencias tan pequeñas como 1 kW hasta los 100 kW.
- Se encuentran disponibles en tres rangos de velocidad (1000, 1500 y 3000 r.p.m.) permitiendo que los sistemas de transmisión sean más eficientes y simples.
- Los motores trifásicos pueden conectarse para un suministro monofásico sin ocasionar alteraciones en el motor. Esto es de particular importancia para los proyectos de electrificación de pequeños pueblos donde es difícil obtener un balance equitativo de la carga en el suministro trifásico.

Sobre la base de las ventajas anteriormente mencionadas, el proyecto de GTZ-MHP en Indonesia, en cooperación con la institución «Yayasan Mandiri» como contraparte, decidió instalar una «planta piloto» adoptando la tecnología IMAG.

El sistema operó durante cinco meses con un sistema de carga fija sin regulador. En la actualidad, uno de los mayores obstáculos para el desarrollo de la tecnología de micro hidrogeneración en Indonesia es la ausencia de sistemas de

regulación de confiabilidad probada. Teniendo esto en mente, no se perdió la oportunidad cuando se presentó un ofrecimiento de transferencia de tecnología para permitir la fabricación local de IGC por parte de ITDG en colaboración con SKAT.

El diseño del IGC fue el resultado de un proyecto de investigación y desarrollo de dos años de duración, emprendido por Nigel Smith, un ingeniero electrónico del Politécnico de Nottingham en Inglaterra. Este diseño ya se transfirió exitosamente a ingenieros electrónicos involucrados en proyectos de microcentrales, tanto en Nepal como en Sri Lanka.

## Transferencia de tecnología

En junio de 1992, Nigel Smith fue invitado a dictar un curso de entrenamiento de un mes de duración al que asistieron dos ingenieros electricistas seleccionados por el proyecto con mucho cuidado, pues se había previsto que fueran los futuros fabricantes de los controladores. El curso de entrenamiento se realizó en el muy bien equipado laboratorio de energía del Centro de Desarrollo de Educación Politécnica de Ciwaruga, Bandung.

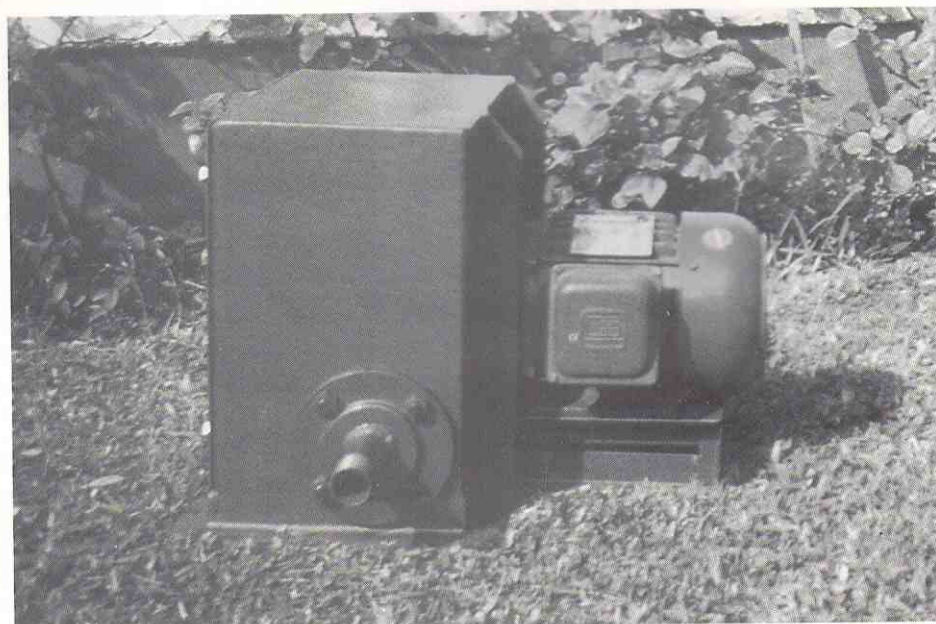
Las dos primeras semanas del curso se dedicaron a la teoría, montaje y ensayo de los componentes electrónicos del contro-

lador. La tercera semana del curso se concentró en el montaje real de tres unidades completas, dos de las cuales se instalaron en dos centrales ubicadas en Sumatra Occidental (10 kW - monofásico) y en Java Occidental (12 kW - trifásico).

Las instalaciones se realizaron durante la última semana del curso. La introducción de los sistemas de regulación creó una nueva dimensión considerando las posibilidades para un proyecto de múltiples usos finales, particularmente en Indonesia, donde las microcentrales rara vez se usan para aplicaciones de transmisión directa en las que sí se puede usar la regulación manual. Obviamente, el mejoramiento del factor de carga alcanzado posteriormente tuvo beneficios económicos.

Un ejemplo de esto es la central de 12 kW en la que se instaló uno de los controladores construidos durante el curso de entrenamiento. Antes de instalarse el controlador, la central operó solamente para el suministro de luz. El mantener una carga fija en la turbina no fue muy difícil debido al tamaño relativamente pequeño de la instalación y la cercana proximidad de la planta a los consumidores.

Luego de la instalación del controlador, se instaló en el pueblo una sierra accionada por un motor trifásico de 7.5 kW que en la actualidad está generando un ingre-



Motor de inducción y turbina. MCH Trinidad, Cajamarca.



so mensual mayor que la venta de electricidad para iluminación. Obviamente, las aplicaciones de este tipo donde se producen amplias variaciones de la demanda de energía harían imposible la operación de un sistema sin regulación.

El controlador mencionado anteriormente es, a la fecha, el más grande que se encuentra en operación y el primero en controlar exitosamente un motor eléctrico con una capacidad de dos tercios de la potencia máxima de la turbina.

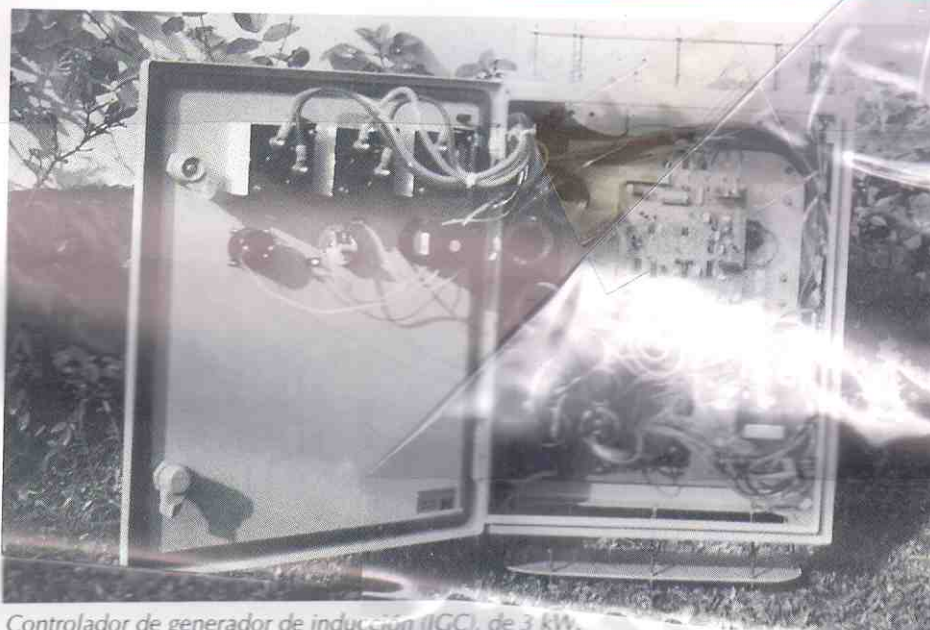
Cualquier nueva tecnología, al ser expuesta a una situación real de trabajo, experimenta numerosas dificultades; y nuestro caso no fue una excepción. Esto se debió a la pobre calidad del suministro de los componentes, a la falta de atención a los detalles durante el montaje y algunas veces a una simple falla de diseño que obligó a realizar un intenso trabajo de revisión. Esto es esencial para asegurar que una tecnología sea a la larga confiable y durable.

Desde que se terminó el primer prototipo del IGC en el laboratorio del Politécnico en junio de 1992, el proyecto ha fabricado con éxito 10 unidades en tamaños variables desde 5 kW hasta 25 kW, debiendo la mayoría de ellas entrar en operación antes de mediados de 1993. El controlador actual, en comparación con su contraparte anterior, presenta un diseño de cabina completamente renovado, nueva disposición de sus componentes y algunas alteraciones menores en la parte electrónica para adaptarse a las condiciones locales y la disponibilidad de componentes. Este progreso se ha logrado mediante la correspondencia con ITDG, SKAT y Nigel Smith.

#### Futuros retos

En el caso del rango de pequeñas capacidades, la tecnología de los motores de inducción operando con turbinas (IMAG) se ha convertido en una alternativa satisfactoria respecto a los costosos sistemas sincrónicos convencionales. Queda aún el reto de producción de un sistema competitivo para las capacidades por encima de los 30 kW. Todavía es materia a debatir cuál sería el mejor enfoque por adoptarse. Lo que sí está claro, sin embargo, es que la disponibilidad inmediata de sistemas de control confiables jugará un rol fundamental en el futuro de la micro hidrogeneración en Indonesia.

(\*) Mark Hayton, MHP Project Coordinator  
Jln. Sukasenang 1 No 7  
Bandung 40124  
Jawa Barat - Indonesia



Controlador de generador de inducción (IGC), de 3 kW.



## LA CALEFACCIÓN SOLAR EN REGIONES FRÍAS

### Guía tecnológica de aplicación para la vivienda y la agricultura en países en desarrollo

Jean-François Rozis y Alain Guinebault  
Lima: GERES; ITDG, 1996

Este libro es un instrumento de ayuda para el diseño y la construcción de modelos solares puestos a prueba donde la calefacción es un desafío primordial, proponiendo una descripción técnica y metodológica de las diferentes aplicaciones de la calefacción solar en regiones frías. Será útil a técnicos, arquitectos y diseñadores sensibilizados frente a los problemas energéticos y a los sistemas de calefacción solar en las regiones frías de los países en desarrollo.

ISBN 9972 47 003 2 / 210 mm x 297 mm / 160 pp

## IMPRESSUM

HIDRORED es una revista internacional para la divulgación de información sobre técnicas y experiencias en micro hidroenergía. Paralela a ésta existe la revista HYDRONET editada en inglés en Sri Lanka con quienes tenemos una mutua colaboración.

#### Corresponsales:

Argentina (Misiones): Jorge Senn  
Bolivia (Cochabamba): Walter Canedo  
Colombia (Bogotá): José Montaña  
Ecuador (Quito): Milton Balseca  
México (Xalapa): Claudio Alatorre  
Perú (Lima): Teodoro Sánchez  
Venezuela (Caracas): Carlos Flores

#### Comité Editorial:

Teodoro Sánchez (ITDG-Perú)  
Walter Canedo (PROPER-Bolivia)  
Carlos Bonifetti (MTF-Chile)

#### Editores Asociados:

Gabriel Ibarra  
(Universidad del País Vasco, España)  
José A. Muñoz (HIDROSERVIS, Perú)  
Jorge Senn (ATAHUALPA, Argentina)  
Carlos Zárate (FAKT, Alemania)  
Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos de  
Cuba (INRH, Cuba)

#### Editores:

**HIDRORED:** ITDG-Perú,  
Casilla Postal 18-0620 Lima, Perú,  
Fax (511) 446-6621,  
E-mail: hidrored@itdg.org.pe

#### Traducción:

Federico Coz

#### Corrección:

Fortunata Barrios

#### Coordinación:

Saúl Ramírez, Romero Miranda  
Beatriz Febres, ITDG-Perú

#### Producción:

Sociedad Hamann, ITDG-Perú

#### Impresión:

Tarea Gráfica Educativa

# VII encuentro latinoamericano en pequeños aprovechamientos hidroenergéticos

CAJAMARCA - PERÚ  
14 - 18 DE JULIO DE 1997



## MAYORES INFORMES:

**BOLIVIA** (Cochabamba): Walter Canedo, PROPER, Telf.: (59) 42-50327 Fax: (59) 42-49649  
e-mail: wcanedo@proper.bo

**CHILE** (Concepción): Carlos Bonifetti, MTF (Máquinas de Termofluidos Ltda.).  
Telf.: (56) 41-310793 Fax: (56) 41-314066

**COLOMBIA** (Bogotá): Mauricio Gnecco, FDTA. Telf.: (57) 86-645520 Fax: (57) 86-632692

**ECUADOR** (Quito): Milton Balseca, Telefax: (59) 32-654407 e-mail: balgran@sun5.espe.edu.ec

**MÉXICO** (Xalapa): Claudio Alatorre, Telf.: (52) 28-141333 Fax: (52) 28-145134  
e-mail: alatorre@lead.colmex.mx