

"MICROTURBINA FLOTANTE PARA RIOS DE LLANURA"

Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería

C. Luna Pont, S. Martínez, F. Ponta

I.- RESUMEN

El Programa de Investigación Aplicada (P&D IN 026), bajo la dirección del Ing. E. Spinadel y desarrollado por los autores del presente trabajo, fue subsidiado por la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad de Buenos Aires, siendo su objetivo concretar el prototipo de una "Microturbina Flotante para Ríos de Llanura", teniendo el presente el carácter de presentación técnica en el país de las tareas que se están desarrollando (ya fué presentado internacionalmente en el Congreso Latinoamericano de Generación y Transmisión Eléctrica, 1993, Valparaíso, Chile).

La microturbina flotante está destinada a ser aplicada en explotaciones agrícola-ganaderas, consumo de pobladores aislados y pequeñas poblaciones ubicadas en sitios remotos, alejados de las redes eléctricas interconectadas o de los sistemas locales, proponiendo tecnologías energéticas no convencionales y herramientas útiles para el desarrollo de la calidad de vida y economías regionales.

Además de lo arriba mencionado, ha sido intención del equipo de proyecto que tanto la fuente energética primaria como los sistemas de conversión energética y generación eléctrica sean limpios, a los efectos de contribuir a la protección del medio ambiente.

II.- ASPECTOS GENERALES

Se trata de un sistema modular, que por adición permite lograr la potencia instalada deseada (dentro de límites lógicos), siendo otra característica su fácil reubicación al necesitar solo pequeñas obras civiles fijas para anclaje, hecho este que reduce la inversión inicial y mejora los costos de generación y la rentabilidad.

El proyecto ha sido concebido por su Director y desarrollado por el Grupo de Investigaciones en Energías no Convencionales (GENCO), del Departamento de Electrotécnica de la FIUBA, que también coordinó la participación de tres alumnos del Departamento de Mecánica Aplicada que realizaron el trabajo final de su carrera en este tema. En la actualidad dos de ellos (uno ya egresado), han obtenido becas de la UBA para proseguir desarrollando tareas de investigación en este Proyecto.

Participan además el Departamento de Ingeniería Naval que realiza los ensayos de un modelo a escala 1:10 en su Canal de Experiencias y el Departamento de Estructuras, que colabora en

el cálculo estructural del sistema de flotación, en una interesante experiencia de cooperación horizontal interdepartamental.

Las hipótesis básicas de trabajo han sido:

- * Que no se afecte al medio ambiente.
- * Que optimice la utilización del recurso hidráulico.
- * Que sea técnicamente simple.
- * Que sea económicamente rentable.
- * Que sea transferible su tecnología.

Desde lo científico - tecnológico los objetivos fueron:

- * Que aporte soluciones tecnológicas no tradicionales
- * Que aporte tecnologías energéticas no polucionantes.
- * Que permita la formación de recursos humanos especializados.

La idea consistió en lograr una planta generadora que utilizara una fuente primaria renovable y fuera aplicable a pequeños y medianos emprendimientos energéticos, para solucionar demandas insatisfechas o de alto costo de generación en el interior de nuestro país u otros del tercer mundo con características similares.

III.- ORIGINALIDAD DEL SISTEMA

Se intentó crear un equipo técnicamente original -no hemos encontrado referencias bibliográficas sobre tratamientos similares del tema, salvo las que se mencionan mas adelante, que no son iguales- pues si bien la aplicación de microturbinas hidráulicas es habitual allí donde se disponga de un adecuado salto de agua, no es lo que ocurre en los rios de llanura, donde las soluciones tradicionales requieren obras civiles que representan importantes inversiones iniciales.

1) Hace algunos años se llevó a cabo un Programa de Cooperación Internacional Venezolano-Alemán (Dornier Systems) en el cual se llegó a utilizar, en el río Magdalena, una embarcación monocasco con una rueda a popa que, movilizada por la corriente de agua, accionaba un generador eléctrico. Una tormenta tropical destruyó el prototipo y esto significó el fin de la experiencia, tal como nos lo informaran verbalmente investigadores de la Dornier.

2) En "Micro Hydropower Sourcebook" (Allen R. Inversin, NRCEA International Foundation, Washington, USA, 1986), pgs. 187-189, se presenta un catamarán tubular que mantiene sumergido un rotor de eje vertical tipo Darrieus de álabes rectos, que acciona mecánicamente a una bomba, ensayado en el curso medio del Nilo, Africa.

3) El CERT de Tacna, Perú, ha desarrollado un proyecto denominado "Bomba de Río", que consiste en una rueda ubicada sobre la costa de un río, que es accionada por la corriente del mismo y que aplica a riego la energía así generada.

Ninguno de ellos posee un dispositivo de aceleración del fluido, siendo esto, particularmente, lo que más lo distingue de aquellos emprendimientos mencionados.

IV.- CARACTERISTICAS DEL SISTEMA

La idea básica fué la de poder incrementar la velocidad de escurrimiento del agua, generalmente baja en ríos de zonas llanas, cosa que se consiguió aprovechando una característica hidrodinámica fundamental como es la aceleración de paso de un volumen dado por unidad de tiempo al reducirse la sección del canal que contiene a la vena fluida.

Esto, a su vez, llevó a proyectar dos elementos flotantes con una conformación especial en el intradós y una rueda con álabes a modo de turbina que, con un sistema de multiplicación adecuado, acciona un generador eléctrico o, eventualmente, otro sistema de aplicación de la energía mecánica así conseguida.

Para el estudio de todas las variables intervinientes se desarrolló un lenguaje matemático asistido por computadora, y la resolución de las ecuaciones del modelo teórico se utilizó para el diseño de los perfiles de canalización del flujo y de la geometría del rotor, haciendo posible esto el posterior desarrollo del anteproyecto de la microturbina flotante.

En base a lo anterior se ejecutó un modelo a escala 1=10 que se está siendo ensayando en el Canal de Experiencias de Ingeniería Naval de nuestra Facultad, lo que permite (ya en aquellos aspectos probados) contrastar esos resultados con los obtenidos anteriormente en forma teórica.

El sistema de flotación está constituido por un catamarán anclado cuyos pontones adoptan una conformación tal en su lado interno que materializan un canal a cielo abierto de sección variable y con fondo plano. El dispositivo se divide en tres tramos, a saber =

* TOBERA= Su función es acelerar la vena fluida de modo que la velocidad de acometida a la turbina (ubicada en el Canal Recto) sea mayor que la velocidad propia del curso de agua.

* CANAL RECTO= Su función es mantener la velocidad de la vena fluida, sin modificaciones ni perturbaciones que alteren su estado para que, en esas condiciones, acometa a la turbina.

* DIFUSOR= Su función es permitir el restablecimiento de vena fluida en condiciones normales luego de su paso por la turbina del Canal Recto, sin que se produzcan fenómenos de separación y/o turbulencia.

La tobera provoca incrementos en la velocidad de la vena fluida, hecho que permite satisfacer los requerimientos de potencia específica en base a una mayor concentración energética que la que puede aportar el curso de agua en condiciones normales.

El difusor, al actuar entre las mismas secciones límites de la tobera debe ser mas largo que ésta, debido a que allí se produce un gradiente de presión adverso, lo que tiende a incrementar la posibilidad de ocurrencia de fenómenos de separación y turbulencia; la mejor forma de contrarrestarlos es, justamente, aumentando la longitud.

V.- HIPOTESIS DE CALCULO

Las hipótesis de calculo empleadas fueron=

- * Flujo laminar, no viscoso y paralelo.
- * Flujo adiabático e isoentrópico.
- * Fluido incompresible.
- * Energía interna constante.
- * Regimen permanente.
- * Variación hidrostática de la presión.
- * Sin intercambio de trabajo mecánico en el medio.

VI.- CALCULO DEL SISTEMA

Se utilizaron tanto la Ecuación Integral de Conservación de la Masa (1.1), donde la integral se extiende a toda la superficie del volumen de control; como la Ecuación Integral de Conservación de la Energía (1.2), además de un coeficiente adimensional de estricción lateral k_b (1.3) donde "Bo" es el ancho de entrada de la tobera y "B1" el ancho de salida.

$$0 = \int_{ac}^0 \rho \cdot v \, da \quad (1.1)$$

$$Q - W = \int_{ac}^0 \rho \cdot \left[\frac{v^2}{2} + U + g \cdot y + P/\rho \right] V \, da \quad (1.2)$$

$$k_b = B1/Bo \quad (1.3)$$

Las distintas velocidades de la vena fluida adoptadas (V_0 = mínima, V_1 = nominal, V_2 = máxima de operación) permitieron obtener las curvas correspondientes a distintas velocidades de escurrimiento, hasta 2 m/s (máximo supuesto). En todas ellas

se pone de manifiesto la existencia de un "punto de saturación" en la tobera a partir del cual los resultados del modelo matemático ya no tienen sentido físico, ubicando en los mínimos locales de la curva, invalidando la rama derecha de la misma a partir de ese punto.

En cuanto a la turbina, consiste en una rueda de "n" cantidad de álabes, aplicándose el principio teórico de arrastre sobre cuerpos interpuestos en una corriente fluida uniforme (1.4), en este caso un álabe sumergido, produciendo un par motor (1.5) sobre el eje de la misma.

$$P = -Cd \cdot A \cdot \rho \cdot V^2 / 2 \quad (1.4)$$

$$T = P \cdot (x + r) / 2 \quad (1.5)$$

La expresión de la potencia se afectó por un coeficiente "S" de simultaneidad, teniendo en cuenta que el álabe en posición vertical tiene una determinada área proyectada (1.6) y otra en posiciones intermedias (1.7), siendo ese coeficiente de simultaneidad el valor medio de dicha área proyectada (1.8). Por ser la misma una función periódica, se calculó la integral de un semiperíodo (1.9) donde "n" es el número de álabes. De acuerdo a los resultados obtenidos, se adoptó 8 como el número más adecuado para este caso.

$$\Delta m = (r - x) \cdot B1 \quad (1.6)$$

$$A = \rho r \cdot \cos(\theta) - x \cdot B1 \quad (1.7)$$

$$A/\Delta m = [\cos(\theta) - x/r] / (1-x/r) \quad (1.8)$$

$$S = 1/\pi/n [1-x/r] \cdot \int_0^{\pi/n} [\cos(\theta) - x/r] d\theta \quad (1.9)$$

El rendimiento de la turbina se obtiene a partir de la potencia con que el fluido acomete a la turbina (1.10) para un rendimiento (1.11) en el que debe tenerse en cuenta un coeficiente adimensional que relaciona la velocidad periférica de la turbina con la velocidad de acometida del fluido (1.12).

$$N_0 = \rho \cdot (r-x) \cdot B1 \cdot V1^3 / 2 \quad (1.10)$$

$$n_t = N/N_0 = Cd \cdot S \cdot W / V1^3 \cdot [V1 \cdot W \cdot r + x/2] \cdot r + x/2 \quad (1.11)$$

$$a = W r / V1 \quad (1.12)$$

$0 < W < V1/r$
 $0 < a < 1$

VI.- RESULTADO DE ENSAYOS EN EL CANAL DE EXPERIENCIAS

Comparándose los resultados obtenidos en forma teórica con los de los ensayos con el modelo a escala, en el Canal de Experiencias de Ingeniería Naval, (Gráfico 1) puede observarse, en cuanto a los incrementos de la velocidad de la vena fluida que acomete al rotor, un comportamiento en los ensayos que no difiere significativamente de la determinación analítica previa, donde para muy bajas velocidades (1,0 m/s hasta 1,6 m/s) las curvas son prácticamente paralelas y solamente a partir de allí ($> 1,6$ m/s hasta 2,0 m/s) comienzan a diverger.

En cuanto al rendimiento propiamente dicho, respecto de la determinación teórica (Gráfico 2), puede observarse que también a muy bajas velocidades los valores experimentales oscilan entre el 71,33% y el 73,73% de los analíticos y a partir de allí descienden a un rango que varía entre el 69,23% y el 62,59%, con una media general del 72,05%.

Respecto del coeficiente de estricción lateral "kb" (1.3) determinado teóricamente, a resultas de la experiencia, luego de aplicar aguas arriba de la proa del estamarán un dispositivo original construido a tal efecto, que por inyección de azul de metileno traza filetes coloreados que permiten visualizar las líneas de flujo y que para este tipo de proa, se produce una desviación de parte del fluido, conformándose un "Bo" virtual (ancho de la tobera a proa) menor que el "Bo" real, hecho que modifica el "Rb" ($B1/Bo$) y por consiguiente, en última instancia, mejora el rendimiento energético de la turbina para la relación "B1/Bo real dado".

De acuerdo a las mediciones realizadas en los ensayos efectuados a tal efecto, el "Bo virtual" varía, reduciéndose a medida que aumenta la velocidad de escurrimiento (aproximadamente el 93% del "Bo real" del modelo a escala 1=10 utilizado para una velocidad del carro de arrastre de 0.8 m/s), comprobándose además que el flujo durante todo su recorrido en el área definida por el intradós de los pontones conserva su condición de laminar, confirmando de esta manera la primera de las hipótesis de cálculo planteadas.

También se ha podido comprobar fehacientemente el descenso de la cota del pelo de agua, proporcional al incremento de la velocidad del fluido (Gráfico 3), verificándose con esto otra de las hipótesis planteadas en los análisis previos.

Los resultados de esta serie de ensayos son más que significativos por su aproximación al cálculo analítico, sobre todo teniendo en cuenta que no se dispuso de una base teórica conocida sino que fué necesario partir de suponer una serie de comportamientos y parámetros previos que, evidentemente, se cumplieron en buena medida.

La Figura 1 (Perspectiva), da una visión general de la configuración de la Turbina Flotante para Ríos de Llanura.

VII.- BIBLIOGRAFIA

- * "Microturbina Flotante para Ríos de Llanura"; C. Luna Pont, F. Ponta, S. Martinez; Publicación No. 009, Junio de 1993, Secretaría de Investigación y Doctorado, FI-UBA, Bs. As.
- * "Resolución asistida por Computadora del Modelo Matemático de un Flujo Incompresible Aplicado al Desarrollo de una Microturbina Hidráulica Flotante"; F. Ponta, S. Martinez; IV Encuentro Académico Tecnológico Nacional, U.N. del Nordeste, Resistencia, Chaco, 1993.
- * "Microturbina Flotante para Ríos de Llanura"; C. Luna Pont, F. Ponta, S. Martinez; Congreso Latinoamericano de Transmisión y Generación de Energía Eléctrica; Universidad Católica de Valparaíso y U.N. de Mar del Plata, Valparaíso, Chile, 1993.

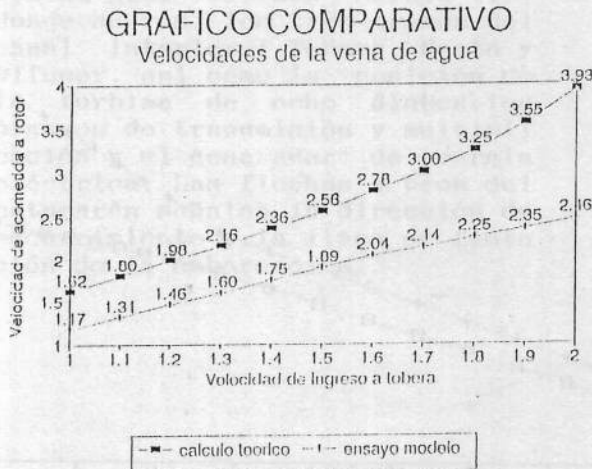


GRAFICO 1

VELOCIDAD DE LA VENA DE AGUA

% de ensayo respecto a calculo teorico

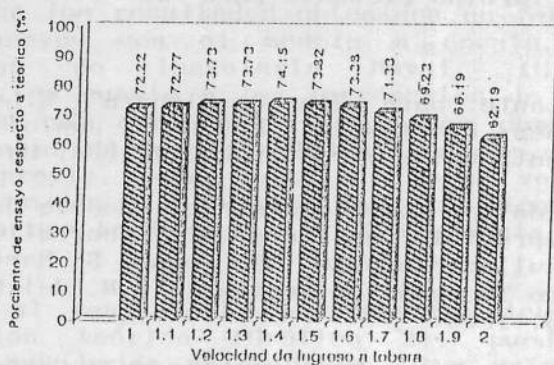


GRAFICO 2

DESCENSO DE LA COTA EN DIFUSOR

ENSAYO MODELO A ESCALA

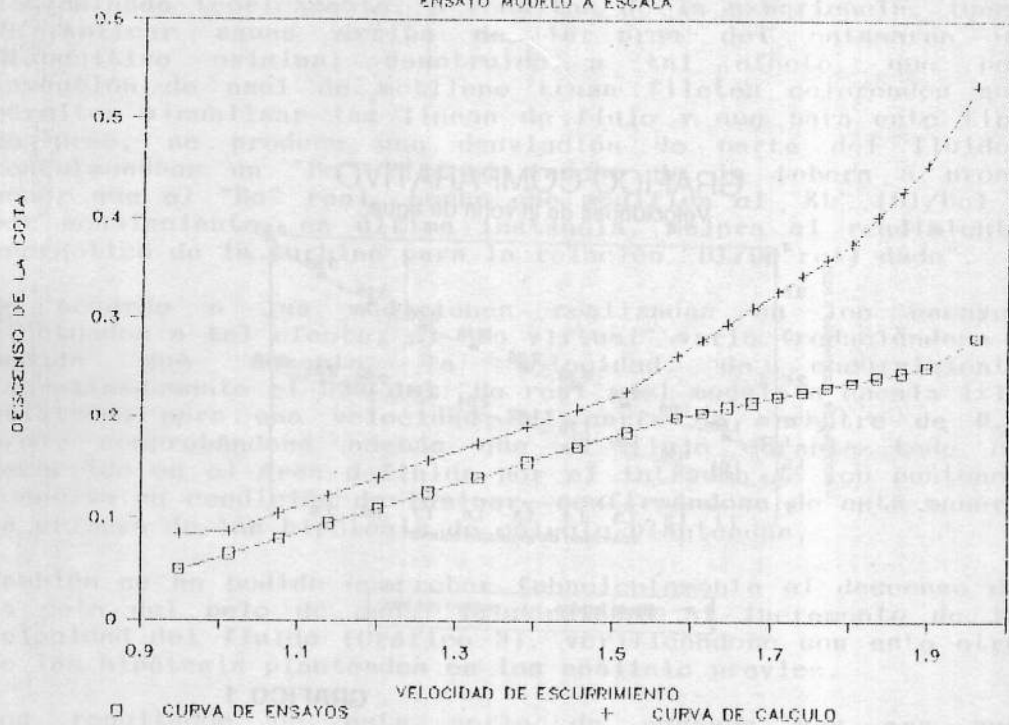


GRAFICO 3

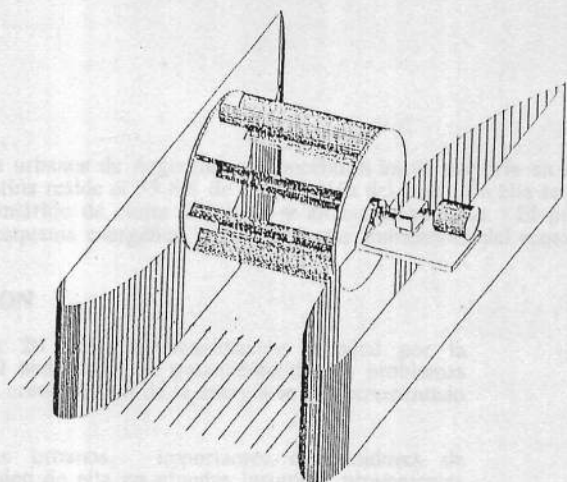


FIGURA 1

En la figura se puede apreciar la configuración de la Microturbina Flotante para Ríos de Llanura, que ha sido llamada "Náyade II", donde se ven los tres tramos del canal interior : Tobera, Recto y Difusor, así como la posición de la turbina de ocho álabes, los órganos de transmisión y multiplicación y el generador de energía eléctrica. Las flechas a proa del catamarán señalan la dirección de escurrimiento y la línea de flotación de la embarcación.