

## TURBINA SAVONIUS PARA BOMBEO DE AGUA

**Ing. Marcelo A. Gerez - Arq. Augusto S. Tortonese**

Avda. Alem 1873 - 5ºD - 4.000 - Tucumán - Argentina

Tel. 0054-381-155882290 - Fax 0054381-4290439 - e-mail: [arqast@hotmail.com](mailto:arqast@hotmail.com)

### RESUMEN

El presente, es un informe sobre el desarrollo de turbinas Savonius aplicadas al bombeo de agua, llevado a cabo mediante una iniciativa privada y con financiamiento oficial a través del C.F.I.(Consejo Federal de Inversiones). Dicha turbina y el sistema de bombeo fueron diseñados por el ing. M.A. Gerez y construidos en la ciudad de San Ramón de la nueva Orán (Salta). Desde el año 1995 hasta fines de 1998 se efectuaron ensayos de estos aerobombreadores de eje vertical en prototipos de escala 1:1 y bajo condiciones reales de servicio, para la determinación de sus parámetros operacionales. Dichos ensayos consistieron en medir el caudal bombeado y el viento correspondiente para su posterior tratamiento estadístico, lo que permitió definir el rendimiento y ajustar los coeficientes aplicados en el diseño.

Área temática Energía: Fuentes Convencionales Alternativas.

### ABSTRACT

This report presents the development of Savonius turbines applied to water pumping. This project was carried out by means of a private initiative, and with official financing between the C.F.I. This turbine and pumping system was designed by and constructed by the engineer M.A. Gerez in the city of San Ramon of the new Orán (Salta). Tests were completed between the years of 1995-1998 on these wind water pumps in prototypes of scale 1:1. The tests took place and under realife service conditions for the determination of the pumps operational parameters. These tests consisted of measuring the pumped volume and the corresponding wind data for later statistical processing, which allowed the definition of the yield and to fit the coefficients applied in the design.

### 1- INTRODUCCIÓN

En el marco de un programa oficial para el abastecimiento de agua y lucha contra el cólera a grupos poblacionales dispersos en la zona del Chaco Salteño, como ser: Misiones aborígenes y asentamientos rurales de bajos recursos, se perforaron durante los años 1994 y 1995 un total de 30 pozos para captación de agua subterránea en la zona del Dpto. Rivadavia, con una profundidad comprendida entre los 10 y 25 mts. Debido a la necesidad de almacenar y potabilizar el agua para uso consuntivo y extraer

volúmenes apreciables para el ganado (vacuno y caprino), principal recurso de la zona, la empresa contratista de las perforaciones emprendió a través de un convenio oficial, el diseño y construcción de un sistema eólico de bombeo que debía cumplir con las siguientes condiciones:

- Bajo costo de fabricación.
- Mantenimiento simple.
- Capacidad de operación con vientos de reducida velocidad.

Después de cinco años de numerosos ensayos bajo condiciones reales de servicio la unidad ejecutora del proyecto ha definido los parámetros operacionales y rendimientos de un modelo denominado Kalaí el cual actualmente se fabrica y se instala en dicha zona.

## 2-DESCRIPCION DEL SISTEMA

### 2.1- Elemento motriz

El aerobombeador consiste en una turbina Savonius de directriz circular como elemento motriz. La misma se compone de dos semi-cilindros desplazados diametralmente, construidos con chapa negra de 1,2 mm de espesor y rigidizados mediante una estructura de tubos de chapa plegada. La turbina cuenta con un eje vertical que se monta en dos cojinetes fijados a un marco metálico de filigrana reforzada. (Fig. 1 ). El cojinete superior es del tipo auto-alineante, mientras que el inferior presenta dos rodamientos: un rulemán de asiento tipo crapodina y otro rulemán común para alineación.

Se ha elegido la turbina Savonius por las siguientes razones: su facilidad constructiva, su capacidad de autoarranque ante vientos de baja velocidad, sus características intrínsecas de máquina eólica lenta: reducida velocidad de rotación y considerable torque, las cuales son aptitudes apreciables para el accionamiento de bombas de émbolo de simple efecto. Otras ventajas apreciables que presenta dicha turbina es que no requiere un mecanismo de orientación ante los cambios de dirección del viento, y su capacidad de autorregulación de velocidad de rotación.



**Fig. 1: Turbina Savonius y estructura portante de filigrana del aerobombeador Kalaí. Sistemas instalados en las localidades de las Vertientes y Sta. Victoria Este (Salta)**

### 2.2- Mecanismo de transmisión

Para transferir el movimiento de rotación alrededor del eje vertical de la turbina a un eje horizontal, se empleó un mecanismo de transmisión constituido por dos engranajes cónicos a  $45^\circ$ . Dichos engranajes forman el sistema de piñón y corona, los cuales guardan una relación de desmultiplicación  $K$  que se define para cada caso particular, teniendo en cuenta la velocidad del viento de diseño, la altura manométrica de bombeo y el diámetro del cilindro de la bomba a emplear. El piñón va instalado en el extremo inferior del eje de la turbina. La corona, dispuesta en forma perpendicular al piñón, tiene su eje sustentado por dos cojinetes, y en el extremo de este se acopla una manivela de longitud regulable (Fig.2)



**Fig. 2: Mecanismo de transmisión empleado. La corona y el piñón del aerobombeador provienen del reciclado del diferencial de un automóvil. La relación de desmultiplicación entre los engranajes y el largo de la manivela se ajustan según las características aerológicas del lugar de emplazamiento y las particularidades del proyecto hidráulico**

### 2.3- Mecanismo de bombeo

El mecanismo de bombeo consiste en una biela conectada a la manivela del mecanismo de transmisión. Mediante la rotación de la manivela, la biela ejecuta un movimiento ascendente y descendente vertical accionando por medio de una barra de acople, el varillaje de una bomba de pistón de simple efecto.

La transmisión puede hacerse de manera directa (Fig. 3) o bien indirecta (Fig. 4).



**FIG. 3: Sistema de bombeo con accionamiento directo sobre el varillaje de la bomba. Altura manométrica de bombeo: 10 m. (Pozo 5 -Localidad: Sta Victoria Este)**



**FIG. 4: Sistema de bombeo con accionamiento indirecto. El molino acciona sobre una palanca acoplada al varillaje. Se aplica en el caso de pozos profundos. Altura manométrica: 25 m**

### 3. EQUIPO Y MÉTODO UTILIZADO PARA LAS MEDICIONES

#### 3.1 Instrumental de medición

Para las mediciones de vientos en los ensayos se ha utilizado una mini estación meteorológica marca WEATHER WIZARD III con un microprocesador de 8 byts y 2 Kb de memoria RAM con una capacidad de almacenamiento de 60 días. La misma cuenta con un anemómetro de tres copelas semiesféricas de 50 mm de diámetro y una veleta. El sistema permite una lectura directa a través de una pantalla digital.

Para el cómputo de las revoluciones del rotor se acopló al eje del mismo un tacómetro del tipo utilizado para el cuentakilómetros de automóvil. Este dispositivo permitía registrar valores instantáneos y valores medios de la velocidad de rotación de la turbina para distintas velocidades de viento.

Para la determinación de la potencia se acopló al eje de la turbina una pequeño freno de prony. Con él se aplicaron cuplas resistentes y se midieron el viento incidente y las revoluciones resultantes.

#### 3.2- Metodología empleada para las mediciones

La investigación se dividió en dos etapas:

a) Determinación de las curvas características de la turbina aplicando sobre el eje de la misma el freno de prony.

b) Evaluación del comportamiento de la turbina con el sistema de bombeo acoplado.

En la primera etapa se aplicaron torques de distintas magnitudes midiéndose la velocidad del viento para el arranque de la turbina y las revoluciones de la misma, de esta manera se definieron las curvas características de potencia y de par motor, en función de las velocidades de viento.

En la segunda etapa se instaló el mecanismo de transmisión y la bomba a la turbina, y se registraron el volumen de agua proporcionado en diferentes intervalos y el valor medio de las velocidades del viento correspondiente a dichos lapsos, a través de las mediciones almacenadas minuto a minuto en la mini estación meteorológica anteriormente descrita, y posteriormente procesadas con el software Weatherlink® de Davis Instrument. Los datos así obtenidos fueron sometidos a un tratamiento estadístico en Excel 5.0 y con ellos se definieron las tablas de rendimiento.

### 4. OBTENCIÓN DE TABLAS DE RENDIMIENTO Y CURVA CARACTERÍSTICA

En base a 4 casos analizados (Tabla 1) durante los años 1995- 1997, se confeccionaron las tablas de rendimientos las característica de coeficientes de potencia para el aerobombador.

**TABLA 1: Cuadro resumen de los casos analizados. Características geométricas de los equipos y las instalaciones de bombeo respectivas.**

| Caso | Localidad         | Altura manométrica de bombeo (m) | Diámetro del cilindro de la bomba (mm) | Relación de desmultiplicación en transmisión | Altura de la turbina (m) | Diámetro de la turbina (m) |
|------|-------------------|----------------------------------|--|--|--------------------------|----------------------------|
| 1    | Sta Victoria Este | 10                               | 635                                    | 2 : 1  | 2                        | 2,02                       |
| 2    | Sta Victoria Este | 15                               | 508                                    | 2 : 1  | 2                        | 2,02                       |
| 3    | S. Bernardo       | 20                               | 508                                    | 2 : 1  | 2                        | 2,02                       |
| 4    | Las Vertientes    | 25                               | 381                                    | 2: 1   | 2                        | 2,02                       |

Caso N° 1: Puesto rural en Santa Victoria Este-(Salta): En un puesto rural de esta localidad integrado por 15 personas, dedicadas a la crianza de ganado caprino, se perforó un pozo de 20 m de profundidad encontrándose una napa semisurgente cuyo nivel piezométrico se ubicó a 8 m de la superficie. Allí se

instaló un aerobombeador Kalai con el objeto de proveer de agua potables a los habitantes. Los rendimientos registrados durante las mediciones efectuadas en los años 1995-1996 se consignan en la Tabla 2.

**TABLA 2: Rendimientos obtenidos - Caso N° 1**

| Velocidad del viento<br>(km / h) | Caudal bombeado<br>(lts / hora) | Velocidad de rotación<br>(r.p.m) | Ciclos de bombeo por<br>minuto |
|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| 10 a 15                          | 570                             | 30                               | 15                             |
| 15 a 20                          | 1140                            | 60                               | 30                             |
| 20 a 25                          | 1519                            | 80                               | 40                             |
| 25 a 30                          | 1519                            | 80                               | 40                             |

Caso N° 2 -Localidad: Sta. Victoria Este-(Salta):Este caso corresponde a un pozo perforado en una misión aborigen de etnia wichí, en donde se precisaba abastecer de agua potable a la misma, debido a los continuos brotes de cólera y parasitosis endémica que sufría por la ingesta de agua proveniente de lagunas de origen pluvial que compartían con el ganado. Para ello se dispuso un aerobombeador Kalai que extrae el agua del pozo y la envía a un tanque elevado de 5000 lts. El agua es esterilizada mediante la adición de una solución de hipoclorito de sodio al 5%, a través de un dosificador proporcional conectado a la cañería de impulsión. El agua se acopia en el tanque ubicado a 6 m de altura sobre el nivel del suelo desde donde se distribuye a un sistema de grifos comunitarios. Los rendimientos obtenidos se exponen a continuación. ( TABLA 3 ).

**TABLA 3: Rendimientos obtenidos - Caso N° 2**

| Velocidad del viento<br>(km / h) | Caudal bombeado<br>(lts / hora) | Velocidad de rotación<br>(r.p.m) | Ciclos de bombeo por<br>minuto |
|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| 10 a 15                          | 365                             | 30                               | 15                             |
| 15 a 20                          | 729                             | 55                               | 28                             |
| 20 a 25                          | 972                             | 80                               | 40                             |
| 25 a 30                          | 972                             | 80                               | 40                             |

Caso N° 3 : Localidad: San Bernardo - (Salta): Este caso corresponde a una escuela rural, con una matrícula de 20 alumnos que asisten en un turno y dos maestros residentes en el establecimiento. Allí se precisaba extraer el agua desde un pozo con un nivel dinámico ubicado a 14 m de profundidad desde la superficie, y elevarlo hasta un tanque de 2000 lts. situado a 4 m de altura. Desde allí se conecta la instalación de distribución interna de la escuela para el servicio de baños y cocina, y un grifo para el riego de una pequeña huerta. El aerobombeador Kalai allí instalado obtuvo los siguientes registros. ( Tabla 4 ).

**TABLA 4: Rendimientos obtenidos - Caso N° 3**

| Velocidad del viento<br>(km / h) | Caudal bombeado<br>(lts / hora) | Velocidad de rotación<br>(r.p.m.) | Ciclos de bombeo por<br>minuto |
|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| 10 a 15                          | 243                             | 20                                | 10                             |
| 15 a 20                          | 681                             | 55                                | 28                             |
| 20 a 25                          | 972                             | 80                                | 40                             |
| 25 a 30                          | 972                             | 80                                | 40                             |

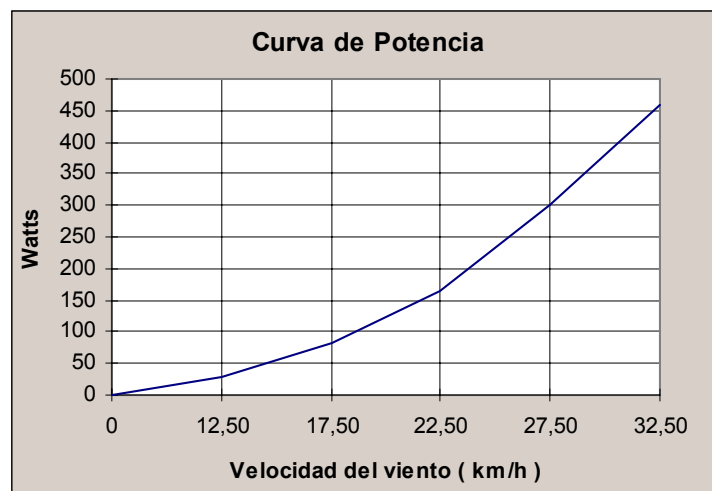
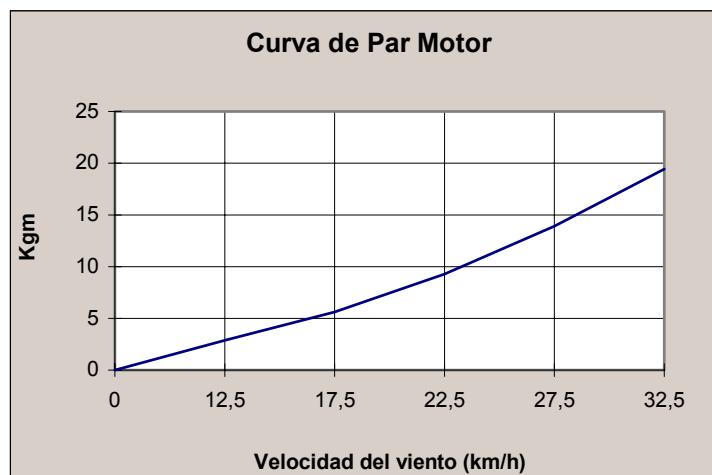
Caso N° 4: Localidad: Las Vertientes - (Salta): A igual que el anterior, este caso corresponde a un aerobombeador que asiste a una escuela rural. Dicho establecimiento posee un comedor en donde se proporcionan desayuno y almuerzo a unos 50 alumnos. Se precisaba extraer el agua desde un pozo con un nivel dinámico ubicado a 23 m de profundidad desde la superficie, y acopiarla en una cisterna de mampostería soterrada de 10.000 lts. de capacidad, en donde se potabiliza, para posteriormente extraerla mediante una bomba de mano. El aerobombeador Kalai allí instalado arrojó los siguientes rendimientos. (Tabla 5).

**TABLA 5: Rendimientos obtenidos - Caso N° 4**

| Velocidad del viento (km / h) | Caudal bombeado (lts / hora) | Velocidad de rotación (r.p.m) | Ciclos de bombeo por minuto |
|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| 10 a 15                       | 205                          | 20                            | 10                          |
| 15 a 20                       | 410                          | 55                            | 28                          |
| 20 a 25                       | 547                          | 80                            | 40                          |
| 25 a 30                       | 547                          | 80                            | 40                          |

Para conocer la capacidad de generación de energía de la turbina ensayada, independientemente del sistema acoplado a la misma se aplicaron distintos valores de torques resistentes en su eje ante la acción de los vientos y se midieron las velocidades de rotación resultantes. Esto permitió trazar las curvas límites para eje libre y bloqueado, y lo que es más importante: la curva característica de potencia y la curva característica de par motor ( Fig. 6 y 7)

Las mismas se exponen a continuación.

**FIG. 6: Curva característica de potencia de la turbina Savonius ensayada.****FIG. 7: Curva característica de par motor (torque) desarrollado por la turbina ensayada.**

## 5. ANALISIS DE RESULTADOS

Como se observan en las Fig.6 y Fig. 7 a partir de vientos con velocidad superior a 20 km / h, el eólico desarrolla potencias y torques que permitirían obtener mayores rendimientos de bombeo si se

aumentan los diámetros de los cilindros de las bombas de simple efecto empleadas en los casos 1, 2, 3 y 4 analizados. Pero, tal modificación, restringiría el servicio del aerobombeador ya que la franja de velocidades de vientos comprendida entre los 10 km/h y 15 km/h representan el 80% del total de horas anuales de viento en la región donde se instalaron las turbinas. Para garantizar la dotación diaria mínima de agua requerida en cada caso, se diseñó el sistema de transmisión y bombeo de tal manera que se obtenga la máxima eficiencia ante vientos comprendidos en ese rango de velocidad.

Si bien se han obtenido valores de potencia y torque para vientos superiores a 35 km/h. los mismos no se consignan ya que por la reducida cantidad de registros de los mismos, fueron descartados de los histogramas en la etapa análisis estadístico.

Se puede observar que bajo carga, la turbina Savonius ensayada llega a un valor medio de 80 r.p.m. en su velocidad de rotación, ante vientos de moderada intensidad ( mayores a 25 km/h ) En los registros ante ráfagas de 60 km/h dicha velocidad de rotación no ha variado sustancialmente, lo que indica una importante capacidad de autorregulación de la turbina ante vientos intensos, sin embargo la estructura de soporte de la turbina debe ser lo suficientemente robusta y estar convenientemente arriostrada, para soportar el empuje ejercido por el eólico en dicha situación.

## 6. CONCLUSIONES

A la luz de los resultados obtenidos en 7 años de continuo trabajo con estos sistemas eólicos, podemos afirmar que la turbina Savonius integrada a un eficiente mecanismo de transmisión, diseñado para cada caso particular, constituye un excelente sistema de bombeo para zona de vientos de reducida velocidad.

La robustez y sencillez de su diseño permite su fabricación con materiales baratos o bien reciclados, aplicando tecnología básica. El mantenimiento de los mismos es mínimo y puede ser realizado por personal no especializado.

Los buenos resultados obtenidos han dado continuidad a la aplicación de estos sistemas eólicos de bombeo, los cuales actualmente se construyen a pedido, atendiendo las particularidades de diseño en cada caso. (Fig. 8)

En zonas con disponibilidades de velocidades de viento mayores a 20 km/h, se podría aplicar dicha turbina para generación de energía eléctrica, o bien, para accionamiento de pequeñas máquinas.



**FIG. 8: Turbina Savonius para aerobombeador Kalaí en taller de fabricación**

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ROSATO, Mario A. Diseño de Máquinas Eólicas de Pequeña Potencia - Edit. ProgenSA S.A. Sevilla.
- GEREZ, Marcelo A., GONZALO, Guillermo E. (1998). "Turbinas Savonius para Bombeo de Agua y Producción de Energía Eléctrica 1º etapa: determinación de parámetros operacionales" Revista

Avances en Energías Renovables y Ambiente, Salta, Noviembre de 1998, Código ISBN/ISSN:0329-5184.

GEREZ, Marcelo A., GONZALO, Guillermo E. (1999) "Turbinas Savonius para Bombeo de Agua" Revista de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente, Volumen 3 N° 1; Salta, Código ISBN/ISSN:0329-5184.

VALE, Brenda, VALE, Robert. La Casa Autónoma - Edit. Gustavo Gili, S.A. Barcelona

ORTEGA, A. The ecol operation - Instituto Mac Gill - Research Brace. Quebec (Canada)

OGAWA, Takenori, YOSHIDA, Haruo. The Effects of a deflecting Plate and Rotor End Plates on performance Savonius. - Type Turbine - Edic. Bulletin of Hyogo University (Japan)

Le Gourrieres Desiré: Energía Eólica - Editorial Masson.

\* Ing. Civil (U.N.T.) - Investigador y Consultor Área Energías Alternativas. CEEMA-IAA-FAU-UNT

\*\* Arquitecto (U.N.T.) - Docente e Investigador Área Energética. CEEMA-IAA-FAU-UNT