

## ENSAYO DE AEROGENERADOR PEQUEÑO<sup>1</sup>

Tilca F, Busano Juan P, Boasso I, Fernández C, Suligoy H y Cadena Carlos<sup>2</sup>  
Facultad de Ciencias Exactas, INENCO<sup>3</sup>  
Av. Bolivia 5150, 4400, Salta. Argentina. Fax: ++54-387-4255448, email: tilcaf@unsa.edu.ar

**RESUMEN:** A mediados del año 2004 se instalaron en la localidad de San Isidro, Departamento de Iruya, Provincia de Salta, un conjunto de aerogeneradores con el objeto de proveer de energía eléctrica para el alumbrado público y para una radio FM del lugar. Con el transcurso del tiempo se observó que los aerogeneradores no cargaban las baterías. Se desmontó entonces uno de ellos y se lo ensayó en el Campus Universitario. Se evaluaron una curva de carga “real” de batería, y por consiguiente la cantidad de energía que es capaz de proveer el equipo y otras. Se observaron además, fallas en el controlador de carga; los resultados se presentan en este trabajo.

**Palabras clave:** Aerogeneradores, ensayo de aerogenerador, cargas de acumuladores, sostenibilidad

### INTRODUCCIÓN

San Isidro es un pueblo de montaña, cuya calle principal se muestra en la Figura 1, ubicado a 3100 metros sobre el nivel del mar, 22.75° Latitud Sur, 65.25° Longitud Oeste, cuyas características fueron descriptas en un trabajo anterior [1]; en este lugar se instalaron los aerogeneradores que muestra la Figura 2, en la misma torre se instaló un anemómetro.



**Figuras 1 y 2: calle de San Isidro, y aerogeneradores y anemómetro instalados.**

Cada aerogenerador tiene su regulador de carga y batería de plomo ácido de 12V/110Ah, ubicados al pie de la torre, enterrados en una caja de madera para protegerlas de las inclemencias del clima, que llega a alrededor de -10 C en las noches mientras que de día a alrededor de 30 C dependiendo de la estación del año. En esta misma caja se encuentra un inversor de 12V/220V y 250 W, a cuya salida se conecta la carga unos 140 m abajo, en el poblado, mediante cable de cobre de 4 mm<sup>2</sup> de sección. Al no cargar las baterías, se desmontó uno de los aerogeneradores y se lo llevó a nuestro lugar de trabajo habitual con el fin de realizar ensayos para determinar el o los motivos del funcionamiento anormal. Cabe aclarar que San Isidro es de difícil acceso, se llega en vehículo hasta la pequeña ciudad de Iruya, desde allí se llega en camioneta hasta el pueblo durante los meses de abril a noviembre, el resto del año el río impide la llegada de vehículos por lo que el trayecto debe hacerse en un par de horas de caminata. Los aerogeneradores están ubicados en la cima de un cerro en cuyas laderas está el poblado. Dadas estas características es imposible realizar los ensayos en el lugar.

La demanda a satisfacer es la siguiente: 4 lámparas de alumbrado público, de alto rendimiento de 15 W cada una, funcionando 2.5 horas por día, y la radio FM que consume 40 W durante 4 horas por día, lo que da un total de 310 Wh/día. Se cuenta con datos de velocidad de viento, en promedios horarios, 24 datos por día, de San Isidro.

<sup>1</sup> Parcialmente financiado por CIUNSA

<sup>2</sup> CONICET

<sup>3</sup> Instituto UNSa-CONICET

Consultado el fabricante sobre los problemas de funcionamiento, envió las curvas que él realizó sobre el equipo, de intensidad de corriente en corto circuito y de voltaje en circuito abierto. De ellas se observa que el aerogenerador arranca a una velocidad de unos 3.6 m/s. La curva de carga del folleto de presentación de los aerogeneradores, parece ser un poco imprecisa. No obstante, las comunicaciones con el fabricante fueron siempre fluidas y con buena predisposición para abordar los problemas presentados, tal es así que al haberse detectado un problema con los reguladores de carga, ya envió un nuevo modelo de regulador que será instalado.

## ENSAYOS

Los ensayos se realizaron de dos formas distintas: en un caso en un banco de pruebas conectando el generador a un motor y realizando las mediciones correspondientes de voltaje y corriente eléctrica en función de las RPM del rotor, y en el otro caso montando el aerogenerador en la caja de una camioneta para realizar las mediciones de corriente y diferencia de potencial en función de la velocidad del viento.

### Ensayo en banco de pruebas

Se utilizó como banco de pruebas el motor de un torno, al que es factible variar la velocidad de giro cambiando de ubicación las correas, y conectando mediante correa el generador del aerogenerador al motor, con lo que se obtuvieron distintas velocidades de giro del rotor (las que se midieron con una lámpara estroboscópica), midiendo la corriente en corto circuito y la tensión en circuito abierto en función del número de RPM en cada caso. Los resultados de las mediciones se observan en el gráfico de la Figura 3.

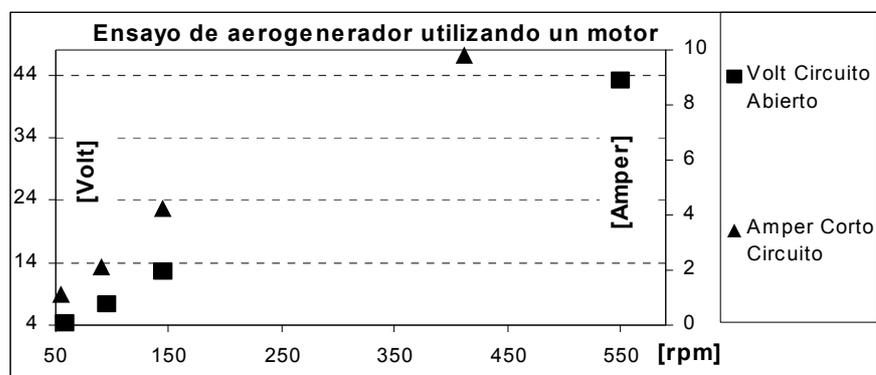


Figura 3: corriente eléctrica y voltaje en función de las RPM.

### - Ensayo del aerogenerador montado en la caja de una camioneta

Para simular mejor las condiciones reales, se montó el aerogenerador en la caja de una camioneta, se eligió un día de calma (sin viento), de manera que la velocidad de la camioneta es la velocidad del viento si tomamos como sistema de referencia a la camioneta. Se eligió una ruta poco transitada y en línea recta. El equipo montado se muestra en la Figura 4, mientras que en la Figura 5 se ve un esquema con la altura del aerogenerador, el anemómetro y dimensiones del vehículo.



Figura 4: aerogenerador montado en la camioneta para realizar el ensayo.

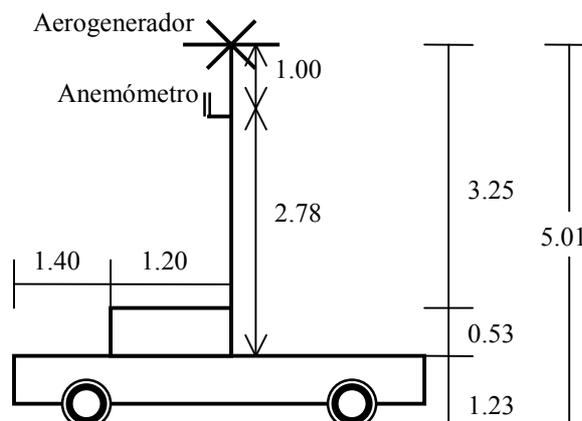


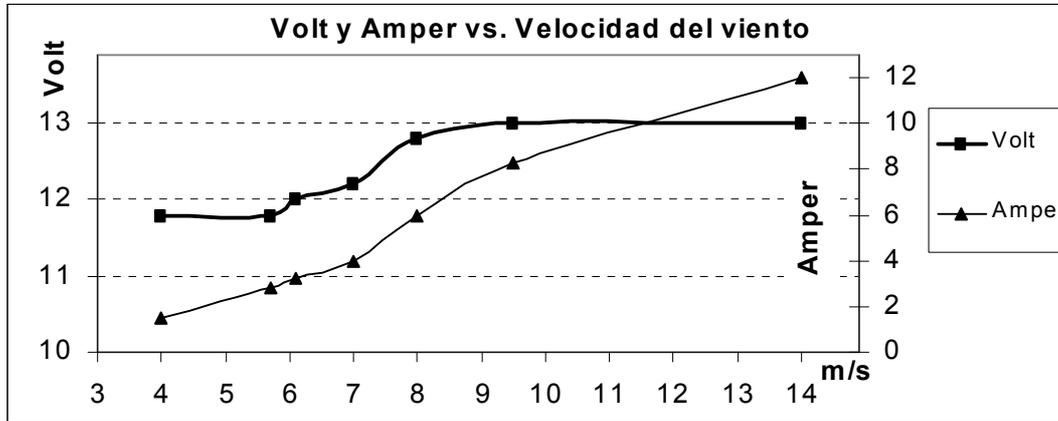
Figura 5: cotas del equipo montado para el ensayo. Se observa que el aerogenerador y el anemómetro están a una altura mayor que el doble del obstáculo, es decir fuera de la zona de flujo alterado.

Se midió:

- La velocidad del viento con un anemómetro térmico TSI unidireccional, además de la velocidad de la camioneta en el velocímetro, aunque éste como medida indicativa pues se tomó la velocidad del anemómetro como la velocidad del viento.
- El voltaje, la corriente eléctrica y la resistencia, utilizando una resistencia variable de 0 a 115 Ohm.
- El voltaje y la corriente eléctrica de carga de una batería para uso solar de 12V/110Ah.

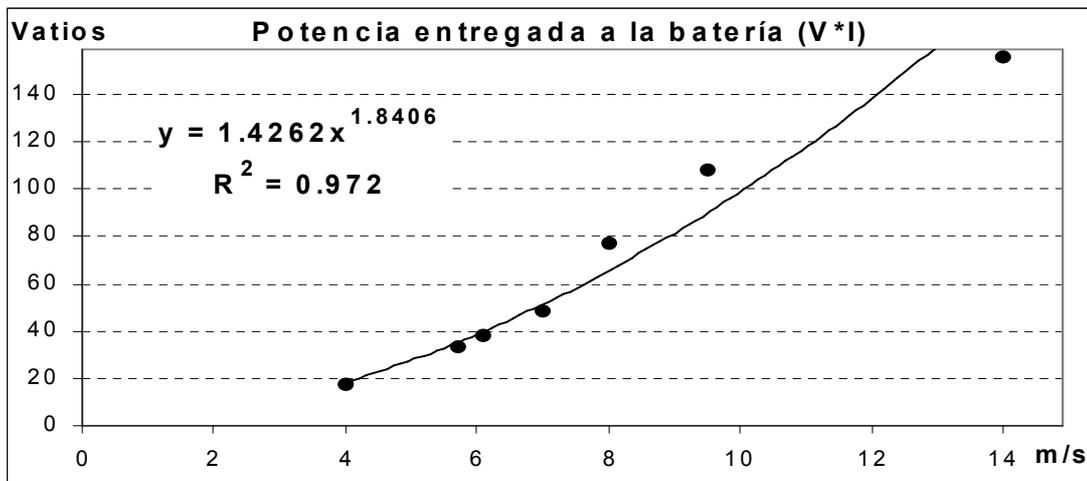
**Ensayo del aerogenerador en camioneta: al cargar una batería de 12 Volt.**

En un primer intento se observó que el aerogenerador no enfrentaba bien al viento, por lo que estas mediciones luego se desecharon. Para solucionar este problema, al día siguiente se fijó mediante una cuerda la cola del aerogenerador de manera que enfrentara siempre al viento, realizándose de esta manera las mediciones.



**Figura 6: Carga de batería, V e I en función de velocidad del viento.**

La batería tenía un voltaje entre sus bornes de 10.5 V antes de iniciar el ensayo (totalmente descargada). Al realizar las conexiones con el regulador de carga, se vio que no funcionaba, razón por la cual se conectó el aerogenerador a la batería sin pasar por el regulador. Los resultados se muestran en las Figuras 6 y 7.



**Figura 7: potencia entregada a la batería, en función de la velocidad del viento.**

**Ensayo del aerogenerador en camioneta: conectado a una resistencia variable.**

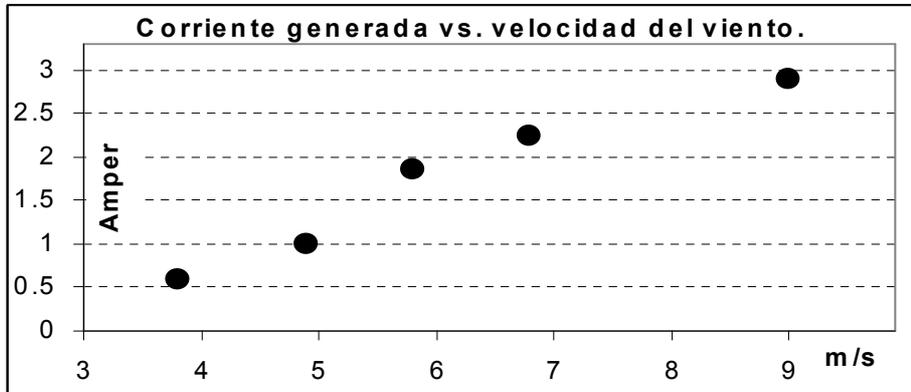
Otro de los ensayos realizados, con el aerogenerador montado en la camioneta, fue conectarlo a una resistencia variable, midiendo intensidad de corriente y voltaje para diversos valores de resistencia, todo en función de la velocidad del viento. En el gráfico de la Figura 8 se muestra cómo varía la corriente eléctrica en función de la resistencia, para distintas velocidades de viento, y en la Figura 9 se muestra la variación de la corriente eléctrica con la velocidad del viento, para resistencia pequeña, en razón de que la resistencia que presentan las baterías en su forma habitual de trabajo es chica.

En la Figura 9 se observa una relación casi lineal entre la corriente eléctrica y la velocidad del viento para una resistencia eléctrica pequeña. Probablemente porque a medida que crece la corriente eléctrica el eje del aerogenerador sufre un mayor “frenado”, debido a que el campo magnético generado es también mayor.

**PRODUCCIÓN DE LOS AEROGENERADORES.**

Para obtener la producción de los aerogeneradores, es necesario aplicar la curva de carga de batería del equipo, Figura 4, a la velocidad del viento del lugar, en este caso el lugar es San Isidro, del que se tienen datos de viento. Además, se debe hacer una corrección por altura, puesto que la potencia generada es función de, además de la velocidad al cubo del viento  $V^3$  y del área  $A$ , de la densidad del aire  $\rho$ , la que depende de la altitud sobre el nivel del mar y de la temperatura media del sitio, según la siguiente expresión, en la que  $p(v_i)$  es la frecuencia de la velocidad  $v_i$ .

$$Pot = \eta^{*}(1/2)\rho.A*\sum p(v_i).(v_i)^3 \quad (1)$$



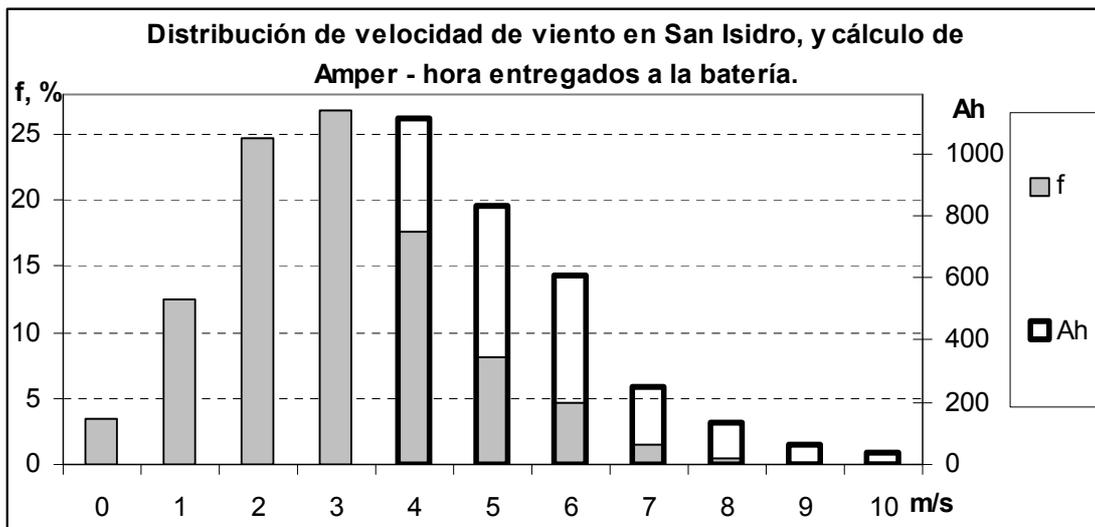
**Figura 9: corriente eléctrica generada en función de la velocidad del viento**

Es decir que a la densidad del aire se le debe realizar una doble corrección: por temperatura y por altitud. A la temperatura media anual se la estima en 12 C, mientras que la altitud es de 3100 msnm. El factor de corrección por temperatura es 1.02, mientras que el de corrección por altura es de 0.75, entonces combinando ambos:  $0.75*1.02=0.765$ .

Los datos de viento medidos en San Isidro, en promedios horarios durante 177 días se muestran en la Tabla 1; a cada velocidad de viento se le aplica el amperaje producido, medido en el ensayo, y se obtiene la producción en Ah y luego al multiplicar por 12 V en Wh; también se realiza la corrección por temperatura y por altitud (0.765) con lo que se obtiene el resultado de 158 Wh/día de la tabla.

Como son tres aerogeneradores, entonces la producción es de 474 Wh/día, lo que cubre la demanda (320 Wh/día). Al haber tres baterías solares de 12V/110Ah cada una, y considerando una profundidad de descarga de 0.5, el tiempo de almacenamiento es de 6 días.

El gráfico de la Figura 10 muestra la distribución de velocidad de viento medido en San Isidro, y la cantidad calculada de Amper - hora que se entrega a la batería; se observa que la mayor cantidad de carga entregada a la batería es a la velocidad de viento de 4 m/s, puesto que los aerogeneradores comienzan a entregar carga a esta velocidad y además la disponibilidad de viento a velocidades mayores que 4 m/s va disminuyendo fuertemente.



**Figura 10: Distribución de velocidad de viento en San Isidro, y cálculo de Amper-hora entregados a la batería en función de dicha distribución.**

vi [m/s]	m (frecuencia de cada medida)	vi*m	Corriente Eléctrica Según Ensayo [Amper]	Amper hora
0	144	0	0	0
1	527	527	0	0
2	1048	2096	0	0
3	1133	3399	0	0
4	744	2976	1.5	1116
5	347	1735	2.4	832.8
6	197	1182	3.1	610.7
7	63	441	4	252
8	22	176	6	132
9	8	72	7.8	62.4
10	4	40	8.8	35.2
Total =	4237		Total =	3041.1 Ah
	Velocidad promedio =	2.98 m/s	Corrección por Temp. y altitud =	Ah/día = 17.23 Wh/día = 206.7 158 Wh/día

**Tabla 1: producción de cada aerogenerador, realizadas las correcciones por altura y temperatura**

## CONCLUSIONES

En términos generales, se puede decir que el equipo conversor de energía eólica está en condiciones de satisfacer la demanda prevista, aunque debido a que arranca a una velocidad mayor que la velocidad promedio del lugar, gran cantidad de las horas disponibles de viento no se aprovechan, por lo que debemos pensar que el mismo no es el más adecuado para la zona.

Por otra parte se observó que el frenado que sufre el eje del aerogenerador al aumentar la corriente eléctrica que genera, es creciente en forma pronunciada con dicha corriente, lo que se atribuye al aumento del campo magnético generado por el inductor del aerogenerador (reacción del inducido).

Los datos proporcionados por los fabricantes de este tipo de equipos no siempre concuerdan con los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio, y al no existir una normativa muy precisa al respecto, es muy poco lo que se puede hacer una vez que el mismo fue adquirido

## BIBLIOGRAFÍA

- Cadena, C y otros. (2004). "Energía solar para San Isidro". AVERMA, Vol. 8 N° 1, SIN 0329-5184, pp. 02.31-02.36
- Mattio, H. (1998). "Nociones Generales de Energía Eólica", Libro de Editorial CREE. ISBN 987-20224-02
- Cádiz Deleito, J. (2000). "La Energía Eólica, Tecnología e Historia". Editorial Hermann Blume. ISBN 84-7214-298-1

**ABSTRACT:** By the middle of year 2004 a set of eolic generators was installed in the town of San Isidro, Department of Iruya, County of Salta, in order to supply electric power for street lightning and an FM ratio. As the operation of the system began, it was observed that the batteries were not charged by the generators, although previous calculations indicated the sufficiency of the local wind to satisfy such demand. Consequently, one of the generators was disassembled and tested in our work place, finding a curve of real load, and consequently the quantity of energy that is able to provide the team, besides flaws in the load regulator; these results are presented in this work.

**Keywords:** aerogenerador rehearsal, small wind turbine rehearsal.