



## MEDICIONES ANUALES COMPARADAS DE VIENTO Y ENERGÍA PRODUCIDA EN UN SISTEMA EÓLICO AISLADO PARA ESCUELA RURAL

R.B. Oliva <sup>(1)</sup>, C.E. Albornoz <sup>(2)</sup>, M.S. Brugnoni <sup>(3)</sup>,  
Universidad Nacional de la Patagonia Austral  
Lisandro de la Torre 1070, Río Gallegos, Santa Cruz, Argentina  
+54 (0) 2966 442317/19. e-mail: roliva@uarg.unpa.edu.ar

**Resumen:** El presente trabajo exhibe la comparación de series anuales de datos de viento con estación automática, la predicción energética asociada, y la energía realmente producida por el sistema eólico de 4kw nominales ( 5 turbinas de 800w) instalado en una escuela rural aislada en la provincia de santa cruz. estas mediciones se realizaron durante 2001 utilizando una estación de viento NRG EXPLORER y un equipo SISMED-01/48 de adquisición de datos. los cálculos de energía de viento disponible fueron realizados utilizando software comercial NRG y planillas específicas para los parámetros de Weibull y estimación de energía, basadas en un tiempo de muestreo de 10 minutos. los cálculos de energía eléctrica son almacenados en forma de promedios diarios para cada aerogenerador. los datos permiten obtener varias conclusiones de interés, entre ellas la influencia de la pérdida de rendimiento ocasionada por la desadaptación de impedancias entre el aerogenerador de iman permanente y el banco de baterías.

**PALABRAS CLAVE:** electrificación rural, carga de baterías, energía eólica, patagonia

### INTRODUCCION

La solución energética que proporcionan los sistemas eólicos de baja potencia, sobre todo para población rural dispersa en regiones de buen potencial de viento va adquiriendo una importancia creciente en todo el mundo. El presente trabajo muestra varias conclusiones obtenidas a partir de series anuales de mediciones realizadas sobre un sistema para la Escuela Rural Las Vegas en la provincia de Santa Cruz, complementadas con registro de eventos y datos de viento obtenidos en el sitio vía una estación automática, en el período correspondiente a enero-diciembre de 2001.

El sistema eólico (Figura 2) de la Escuela Rural N°26 Paraje Las Vegas fue instalado en enero de 2000 por Servicios Públicos Sociedad del Estado (SPSE), con financiamiento del Consejo Federal de Inversiones (CFI). La estación anemométrica NRG-Explorer, con sensores ubicados a 10m de altura, fue instalada en 1998 en el predio previsto a efectos de estudiar el recurso y dimensionar la instalación, en el marco del Convenio SPSE/UNPA para la evaluación del potencial eólico en Santa Cruz (Oliva y Albornoz, 2002).



**Figura 1** – Ubicación Escuela N°26, Paraje Las Vegas



**Figura 2** – Equipos eólicos instalados (SPSE/CFI)

<sup>1</sup> Universidad Nacional de la Patagonia Austral. Codirector Area Energías Alternativas.

<sup>2</sup> Servicios Públicos Sociedad del Estado - Ingeniería.

<sup>3</sup> Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería, Director Externo de Proyectos UNPA.

Por otro lado, a través del Convenio SPSE-UNPA (Universidad Nacional de la Patagonia Austral) se concluyó en mayo de 2000 la instalación del sistema de adquisición de datos SIMMED-01, con financiamiento del CFI (Oliva, 1999) y (Oliva y Luna Pont, 2000).

## DESCRIPCION DEL SISTEMA

### Datos principales

El sistema se encuentra ubicado a 90km de Río Gallegos, Santa Cruz (51° 19.53' S y 70° 18.70' W, ver Figura 1), y cuenta con 5 aerogeneradores Eolux de fabricación nacional. Dichas turbinas tienen una potencia nominal de 0.8kW, rotor tripala de 2.2m de diámetro, y generadores trifásicos de imán permanente y rectificador dimensionados para cargar bancos de baterías de 48V. En este caso el Banco de baterías está compuesto por unidades de ciclo profundo Yuasa-Exide, con una capacidad nominal de 52.8kWh. La conversión a corriente alterna de 230V/50Hz se realiza con un inversor Trace de 4.5kW con cargador incorporado. Se instalaron además cuatro reguladores de carga Trace C40, provistos con las turbinas. Un diagrama general del sistema puede observarse en la Figura 3. Todo este equipamiento, salvo el generador Diesel, se encuentra alojado en un refugio rectangular próximo a los aerogeneradores. La distancia de cableado hacia la escuela es de unos 200m, y la transmisión es directamente en 230V monofásica.

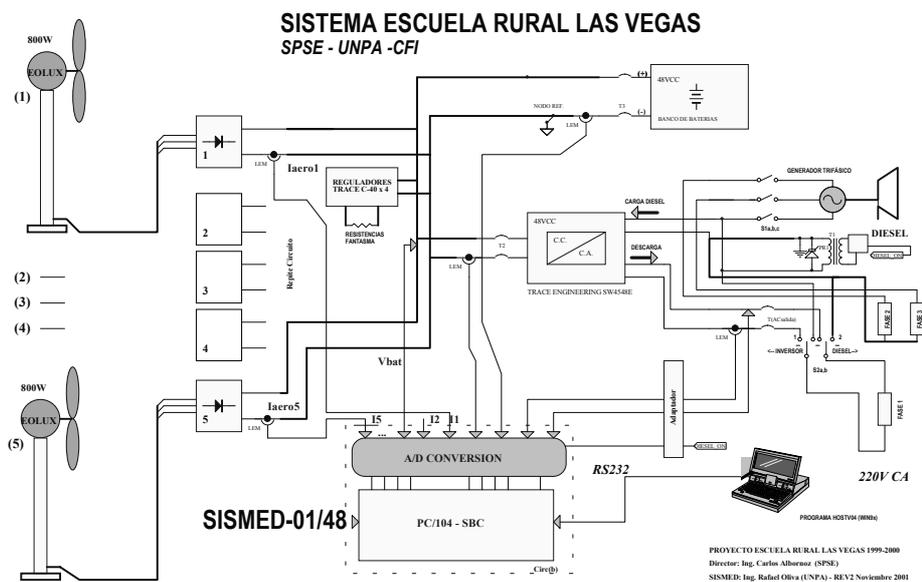


Figura 3 – Diagrama del Sistema - Escuela Rural N°26, Paraje Las Vegas

### Sistema de Adquisición de Datos

El equipo SIMMED-01/48 se encuentra instalado en el mismo tablero (Figura 4) que los rectificadores y reguladores provistos con los aerogeneradores, y toma una pequeña cantidad de energía del banco de 48V para su funcionamiento interno. Se basa en tecnología PC/104 más placas desarrolladas localmente (Oliva y Luna Pont, 2000). El SIMMED permite registrar los datos de funcionamiento del sistema que se indican en la Tabla 1.

Parámetro	Medición que realiza el SIMMED	Rango - Unidades
1	Corriente y Potencia del Aerogenerador 1	0-50A / 0-2.4kW
2	Corriente y Potencia del Aerogenerador 2	0-50A / 0-2.4kW
3	Corriente y Potencia del Aerogenerador 3	0-50A / 0-2.4kW
4	Corriente y Potencia del Aerogenerador 4	0-50A / 0-2.4kW
5	Corriente y Potencia del Aerogenerador 5	0-50A / 0-2.4kW
6	Corriente del banco de baterías, Energía	+/-200A / kWh
7	Tensión del banco de baterías	0-70V
8	Corriente entregada al inversor	+/-200A
9	Tensión de salida alterna RMS del Inversor	0-300V
10	Corriente de salida alterna RMS del Inversor, Potencia Aparente,	0-50A / 0-11.3kW
11	Energía generada por cada uno de los aerogeneradores	kWh
12	Bits de Estado del sistema - Registro de Eventos	-

Tabla 1: Datos tomados por equipo SIMMED

El intervalo en que se registran los datos es configurable a través del Software HOST LV04, provisto junto con el sistema y que se ejecuta en una Notebook PC bajo Windows 95/98. Para este trabajo, se muestrea cada 2 segundos, y el almacenamiento se hace con períodos diarios, con lo cual se logra una autonomía de 100 días. Este hecho facilita la recolección de los datos, sobre todo en período invernal en que el acceso a la Escuela se complica por factores climáticos. Se

espera en una futura versión poder aumentar la capacidad de almacenamiento del sistema. El trabajo de recolección de datos se realiza dentro del refugio (Figura 4, izq) y se completa en pocos minutos. El programa Host genera archivos en dos formatos: .DAT y .CSV, este último legible directamente en Excel. Asimismo, se encuentra en elaboración por parte del equipo de Energías Alternativas de la UNPA el programa *CSVtoDBF*, que permite incorporar los archivos de salida directamente a una base de datos, facilitando el proceso de análisis.

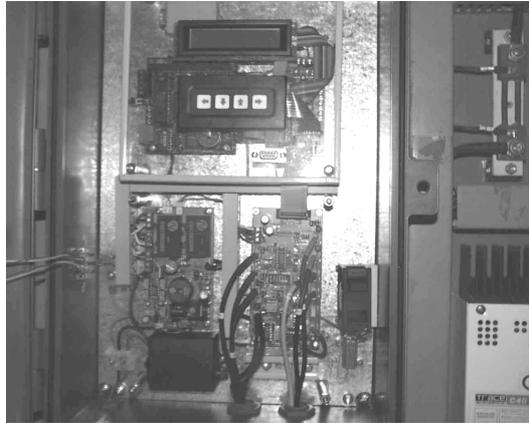
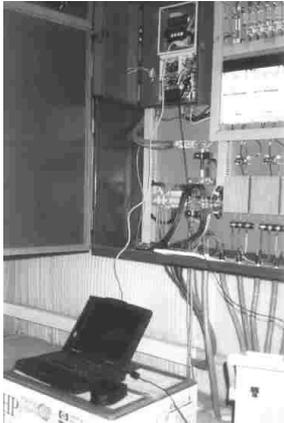


Figura 4 - Recolección de Datos (izq.) y Panel Principal SISMED Las Vegas

Figura 5 - Estación NRG WindExplorer

### Cómputos de Energía y Potencia

El SISMED realiza los cómputos de energías en base a direcciones de flujo, según se indica en la Figura 6. Los cálculos se han esquematizado para reducir su complejidad, restando implementar todavía el cálculo de los excedentes enviados a las resistencias fantasmas ( $E_{dump}$ ). Los módulos de software trabajan con corrientes unidireccionales (caso aerós e intensidades de alterna) o bidireccionales, discriminando signo (caso inversor y banco de baterías).

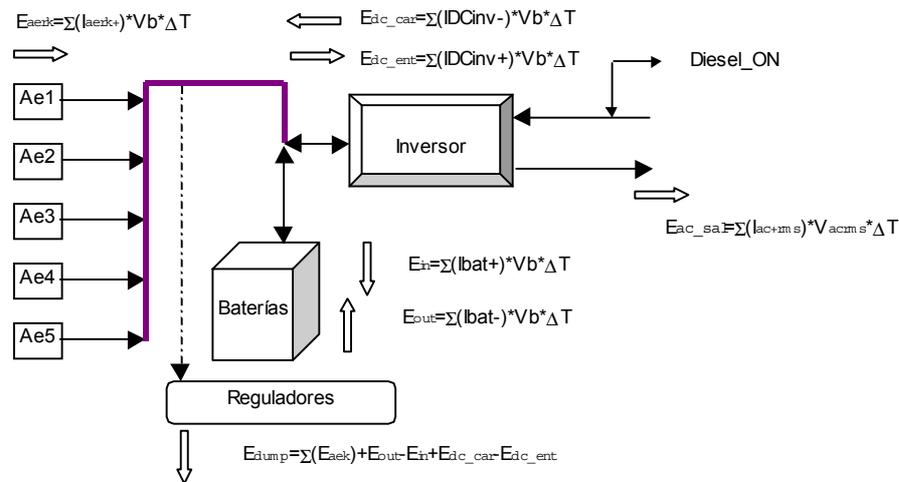


Figura 6 - Cómputos Energéticos en el SISMED/01 para Escuela Las Vegas

### Registro de datos de viento

En un punto cercano a los aerogeneradores (aprox. 100m hacia el W) se hallaba previamente instalada una estación meteorológica NRG Wind Explorer (operada por SPSE). Un extracto del procesamiento de datos (promedios de 10 minutos) de la misma para el período considerado (Enero a Diciembre de 2001), permitió extraer conclusiones respecto a la disponibilidad de energía de viento en cada período y su aprovechamiento efectivo (Ver Resumen de Datos).

### RESUMEN DE DATOS

#### Producción de Energía - Aerogeneradores

A continuación, se muestran las producciones energéticas brutas registradas para cada aerogenerador en el período considerado. En la Tabla 2 y Figura 7 pueden observarse dichos datos, y además los períodos en que problemas técnicos en los aerogeneradores dieron lugar a producción nula de energía. Los problemas se generaron en los siguientes equipos:

- Aerogenerador 1 (en Diciembre de 2000) - Se produjo una falla en los bobinados del aerogenerador. Fue necesario enviar el generador a la fábrica. La reposición se realizó recién el 6 de junio de 2001, por demoras administrativas.
- Aerogenerador 5 (entre 16 y 18 de Enero de 2001) - Se produjo el desprendimiento de la cola, por fisura en fabricación. Fue reparado en garantía y puesto en servicio nuevamente el 20 de abril de 2001.

## Resumen de Datos - Esc. Rural Las Vegas 2001

### Datos de Energía de los Aerogeneradores al 31 de Diciembre 2001

Mes	Eaer1 [kWh]	Eaer2 [kWh]	Eaer3 [kWh]	Eaer4 [kWh]	Eaer5 [kWh]
Enero 2001	0.00	162.37	139.77	136.94	72.38
Febrero 2001	0.00	143.96	159.19	156.58	4.12
Marzo 2001	0.00	117.37	132.84	129.47	0.00
Abril 2001	0.00	123.31	139.82	135.82	70.89
Mayo 2001	0.20	64.95	62.05	61.88	63.66
Junio 2001	45.35	62.60	64.48	64.69	65.97
Julio 2001	77.33	70.21	70.62	71.00	72.04
Agosto 2001	73.82	64.72	66.33	67.26	68.60
Setiembre 2001	104.50	81.46	93.18	37.28	94.78
Octubre 2001	126.64	96.73	113.26	0.00	116.07
Noviembre 2001	178.72	133.37	157.87	0.00	161.12
Diciembre 2001	177.55	135.44	159.21	0.00	163.36
<b>Total Anual</b>	<b>784.11</b>	<b>1256.47</b>	<b>1358.62</b>	<b>860.93</b>	<b>952.99</b>

<b>Total Anual Aeros</b>	<b>5213.12 [kWh]</b>
--------------------------	----------------------

Tabla 2 - Energía de los Aerogeneradores 2001

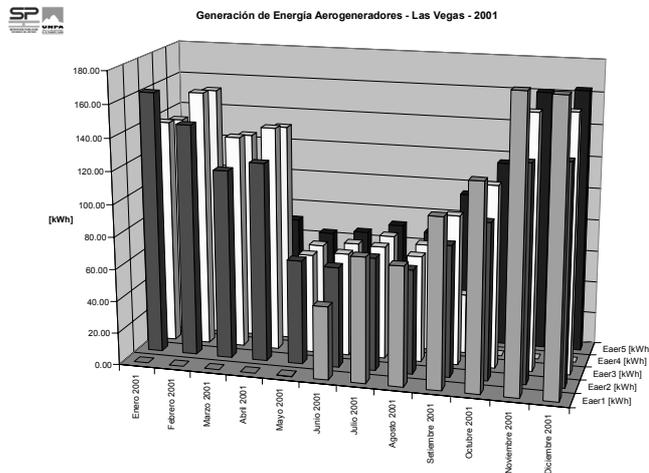


Figura 7 - Energía de los Aerogeneradores 2001

c) Aerogenerador 4 (día 10 de setiembre de 2001) - Se cortó una de las riendas del equipo, desprendiéndose el primer tramo de la torre. Milagrosamente, el aerogenerador quedó suspendido, apoyado en la rienda opuesta, lo cual le evitó daños. Fue reinstalado en febrero de 2002.

Son notorias las caídas de intensidad de viento en épocas invernales típicas de la Patagonia, lo cual obliga en muchos casos al sobredimensionamiento de los equipos, o al uso de reserva fría para disponer de potencia firme. Sin embargo, en el caso de la escuela prácticamente no se registra actividad desde mediados de junio a fines de agosto por el prolongado receso invernal que se establece para la educación rural en esta zona, por lo cual no se afecta fuertemente la actividad de enseñanza.

#### Horas de calmas o no-disponibilidad técnica

El SISMED-01 lleva además un registro de las horas en que el aerogenerador se desempeña por debajo de un umbral seleccionado de potencia (en nuestro caso 100W). Esto cuenta tanto las calmas reales de viento como las horas de no-disponibilidad por problemas técnicos del molino. En la Tabla 3 se muestran los valores correspondientes al periodo enero-diciembre de 2001. Se repite el patrón de mayor porcentaje de calmas en invierno, aunque en este caso los valores están afectados por las fallas de los equipos, que producen aparentes horas de calma.

#### Horas de Calma - Aerogeneradores

Escuela Rural Las Vegas N°26 / Enero a Diciembre 2001

Inicio	Finalización	Horas Totales	Horas de Calma (Pot. Aerogeneradores < 100W)					% calmas Promedio
			Aer1	Aer2	Aer3	Aer4	Aer5	
27-12-00	03-01-01	168.7	151.5	57.8	63.9	64.7	62.4	36.87%
03-01-01	02-03-01	1382.3	1382.9	695.6	633	636.7	1233.2	47.39%
02-03-01	04-04-01	792.1	800.7	550.6	444.8	448.9	800.7	60.78%
04-04-01	13-06-01	1678.1	1598.9	1210.9	997.8	997.5	1154.2	63.69%
13-06-01	11-09-01	2156	1443.9	1748	1489.1	1491.6	1470.1	73.11%
11-09-01	21-09-01	241.5	141.6	177.7	145.9	242.6	144.8	63.15%
21-09-01	04-12-01	1770.8	882.5	1200.7	936.6	1747.4	914.7	55.55%
<b>Totales</b>		<b>8189.5</b>	<b>6402</b>	<b>5641.3</b>	<b>4711.1</b>	<b>5629.4</b>	<b>5780.1</b>	
% Tiempo de Operación a Más de 100W			<b>21.83%</b>	<b>31.12%</b>	<b>42.47%</b>	<b>31.26%</b>	<b>29.42%</b>	

Tabla 3 - Horas de calmas + no-disponibilidad técnica, con un umbral de 100W.

*Series de Tiempo - Aerogeneradores y Banco de baterías*

A continuación, se muestran series de tiempo registradas en el período considerado, limitándonos a un único generador. Los promedios de potencia y el máximo son diarios. Se observa (Figura 8) la gran diferencia entre la potencia máxima alcanzada por el equipo y los promedios diarios registrados.

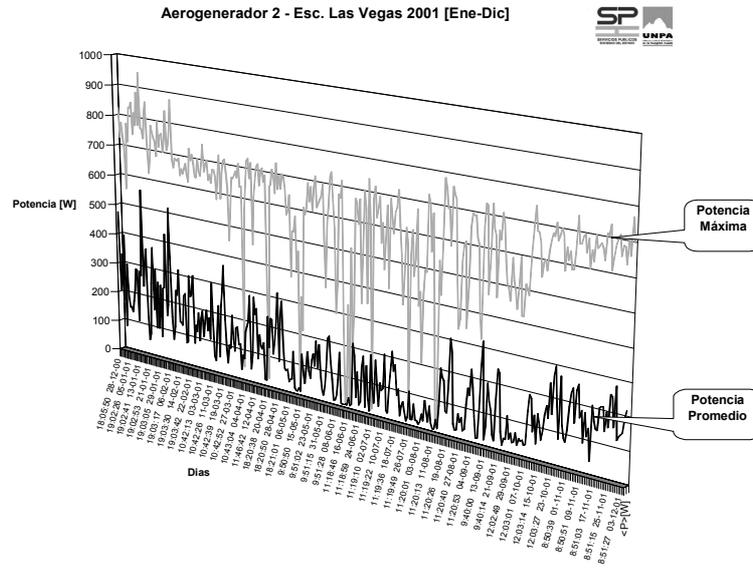


Figura 8 - Potencia máxima y promedio diaria del Aerogenerador 2 - 2001

Para el banco de baterías, el SISMED computa como negativas las potencias de descarga y como positivas las de carga. En la Figura 9 las potencias de carga incluyen aportes tanto del Diesel como de los aerogeneradores. Los períodos indicados como problemáticos correspondieron a un Reset forzado por baja tensión en pleno invierno, que no recuperó totalmente los datos (se perdieron partes de las series de potencia de carga/descarga), y en el mes de octubre a un pico de tensión del Diesel que destruyó uno de los varistores y el circuito de sensor de Diesel On/Off.

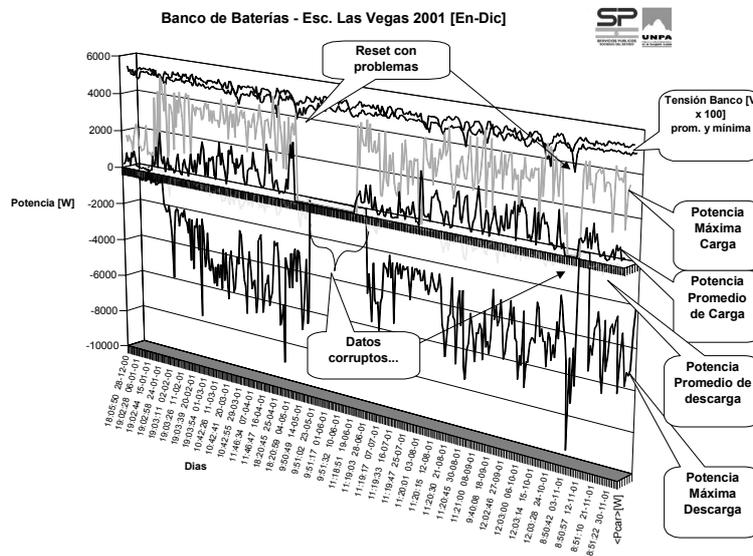


Figura 9 - Serie de Tiempo del Banco de Baterías. Se indican dos períodos con problemas en los datos.

*Datos de viento y producción energética*

Los valores de datos de viento mensual se procesaron utilizando planillas de cálculo específicas (para obtener coeficientes de Weibull) y el programa NRG Microsite v2.07, que permitieron ingresar la curva de potencia suministrada por el fabricante del equipo Eolux y realizar cálculos de energía teórica a entregar por el aerogenerador en condiciones ideales de adaptación para máxima transferencia de potencia. El valor para un equipo Eolux, para los promedios anuales medidos es de entre 2480 y 2600 kWh/año (las predicciones del Microsite fueron verificadas con el software Alwin\_fW). Esta adaptación es factible en el caso de las turbinas eólicas conectadas a red, cuando la misma puede absorber toda la potencia generada por el equipo. En el caso de los sistemas de carga de baterías, dicha adaptación es muy difícil (Gevorgian et al.,1998), debido al pobre acople entre el aerogenerador de imanes permanentes, el rectificador y la batería. Esto explica la diferencia observada entre los cálculos de energía teórica que entregaría el aerogenerador con las mediciones reales (Figura 10), a pesar de que incluso en

verano es común que con baterías cargadas y bajo consumo actúe el grupo de reguladores Trace C40 derivando energía a las resistencias fantasmas, y por lo tanto la energía efectivamente entregada por cada aero es menor a la que registran los sensores individuales a la salida de cada rectificador. Un juego de reguladores individuales inteligentes (MPPT - *Maximum Power Point Tracking*) similares a los utilizados en sistemas fotovoltaicos avanzados, permitiría una mejora estimada en 30% en el rendimiento de cada turbina, aunque probablemente a un costo prohibitivo.

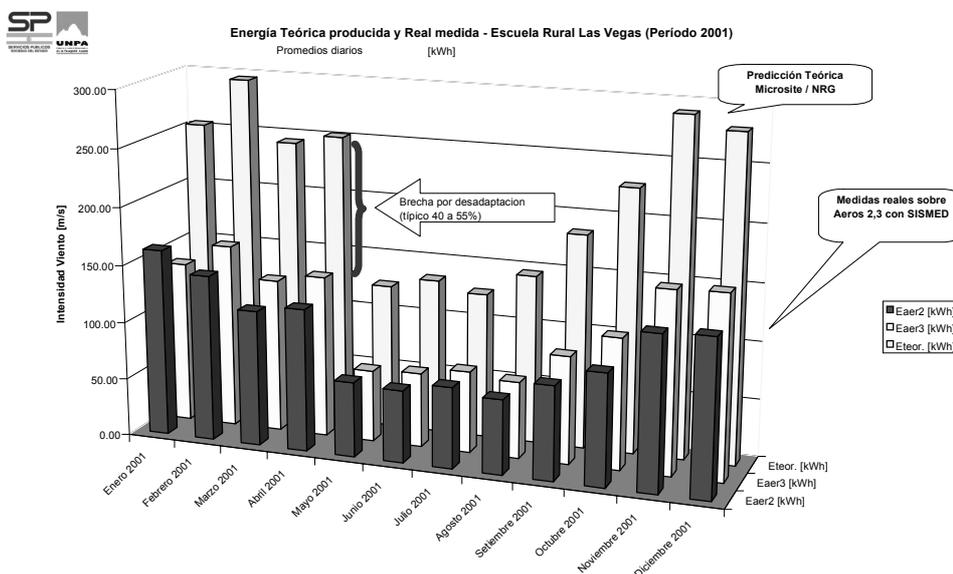


Figura 10 - Energía teórica basada en medición de viento y curva de potencia (Microsite) comparada con mediciones reales.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se espera poder concretar la modificación del software para el cómputo de la potencia derivada a las resistencias fantasmas, que debió relegarse por limitaciones en la memoria disponible. Asimismo, se incorporarán los cálculos de desvío standard y de potencia activa a la salida del inversor (ahora se computa la aparente), este último cálculo a través de un circuito multiplicador analógico- integrador de los valores instantáneos de tensión y corriente de salida. Ambas modificaciones fueron realizadas con éxito en una unidad SISMED/01-24 instalado posteriormente en otra Escuela Rural en Chile. Por último, la modificación del circuito de alimentación a las cargas ajenas a la Escuela permitirá en el futuro un análisis más preciso del rendimiento del sistema eólico.

## BIBLIOGRAFIA

- Gevorgian, V.; Corbus, D.; Drouilhet, S.; Holz, R.; Thomas, K. (1998). *Modelling, Testing and Economic Analysis of a Wind-Electric Battery Charging Station*, NREL/CP-500-24920. Presentado en WindPower '98, Bakersfield, California, Abril 27- Mayo 1.
- Oliva, R. (1999) *Development and Applications of a Data Acquisition System for Low Power Wind and PV Generators*, Simposio Internacional de Energías Renovables, Agua e Infraestructura Afín, Arica, Chile, Noviembre de 1999 organizado por DAAD, Universität Oldenburg (Alemania) y Universidad de Tarapacá (Chile).
- Oliva, R.; Luna Pont, C.A. (2000) *Development and first results of a data acquisition system for low power wind-diesel generators in South Patagonia*, Proceedings (CD) de "Wind Power for the 21<sup>st</sup> Century", EWEA Special Topic Conference and Exhibition, Kassel, Alemania, 25-27 de setiembre.
- Oliva, R.; Albornoz, C. (2002), *Deployment of a Network of Automatic Wind-measurement Stations in South Patagonia*, Presentado VB3.12 en The World Wind Energy Conference and Exhibition (Proceedings en publicación) Berlin, Alemania, 02 – 06 Julio.

## REFERENCIAS ADICIONALES

En [www.unpa.edu.ar](http://www.unpa.edu.ar) Ver: - Area Energías Alternativas. Proyecto Las Vegas - Informe 2001 (PDF)

## ABSTRACT

This paper presents results derived from compared measurements of wind intensity, direction and power in an isolated battery-charging system for a rural school in patagonia. the 2001 databases from an nrg logger and a sismed-01 specialized data acquisition system are processed using nrg software and conventional spreadsheets, allowing for a number of performance issues to be described.