

◆ SECTOR : PLANIFICACIÓN DE INVERSIONES

## **EVALUACION TECNICA Y ECONÓMICA DEL GENERADOR EOLICO INSTALADO EN CERRO DE LOS CARACOLES**



Nº de documento: PI-019/01  
Autor (es): Ing. P. Mosto; Ing. G. Triunfo; Ing. F. Fontana

Fecha de creación : 19/07/2001  
Número de revisión : 1  
Fecha de última revisión : 20/07/2001

Nombre del archivo : G:\Pla\Pla\_datos\Archivos\Pi\2001\19.2001\Informe Caracoles 2001

## INDICE

<b>ANTECEDENTES .....</b>	<b>3</b>
<b>DATOS GENERALES DEL EQUIPAMIENTO .....</b>	<b>4</b>
<b>FINANCIACIÓN Y CONTRIBUCIONES .....</b>	<b>5</b>
<b>ANÁLISIS DE LOS DATOS REGISTRADOS .....</b>	<b>5</b>
<b>CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA .....</b>	<b>5</b>
<b>REMUNERACIÓN DE LA AEROGENERADOR.....</b>	<b>6</b>
<b>ANÁLISIS DE LAS INCIDENCIAS EN 15 KV.....</b>	<b>7</b>
<b>CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS .....</b>	<b>8</b>

## Antecedentes

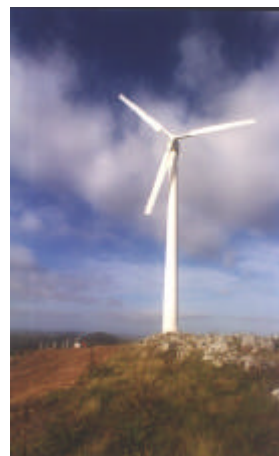
La evolución reciente de aspectos relacionados con la energía eléctrica de origen eólico se inscribe en el desarrollo de estudios tendientes a evaluar los recursos del país asociados a fuentes renovables de energía. En este sentido se pueden identificar dos vertientes.

En primer lugar, los análisis llevados a cabo a nivel de la Dirección Nacional de Energía (DNE) del Ministerio de Industria, Energía y Minería, buscando evaluar la potencialidad de los recursos, no necesariamente vinculados a la generación eléctrica.

En cuanto a energía eólica, a nivel Ministerial se desarrolló un estudio con participación de varias instituciones nacionales y con apoyo del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). El estudio condujo a la evaluación del recurso eólico con énfasis en la zona sureste del país.

En 1988 UTE y Universidad de la República firmaron un convenio que tuvo como objeto evaluar el potencial eólico en el Uruguay para cuantificar y conocer las características de un recurso energético como es el viento. Este acuerdo constituyó el punto de partida para el desarrollo de un Programa con el objeto de cuantificar el recurso eólico con vistas a su aprovechamiento en gran, mediana y pequeña escala.

El aprovechamiento a gran escala es el que se realizaría con una granja eólica. Estas se componen de un gran número de generadores eólicos, es decir de sistemas que convierten la energía disponible en el viento en energía eléctrica. Estos generadores se componen usualmente de una turbina eólica, es decir un rotor con una, dos o tres aspas o palas, cuyo diámetro alcanza varias decenas de metros, y un generador eléctrico. Todo esto montado sobre una torre cuya altura es de aproximadamente el mismo valor que el diámetro de la turbina. Estas granjas eólicas vuelcan la energía generada a las redes de transmisión de energía eléctrica.



Los aprovechamientos a mediana escala se refieren a la utilización del recurso eólico con el mismo tipo de sistemas mencionados anteriormente, conectados a las redes de distribución o transmisión de energía eléctrica pero en un número sensiblemente inferior y destinados a suministrar energía eléctrica a instalaciones industriales.

En cuanto al aprovechamiento en pequeña escala, éste se reserva para las instalaciones que operan en zonas alejadas de las redes eléctricas nacionales y en las cuales se genera exclusivamente para un sistema autónomo.

La incorporación de un nuevo sistema de generación eléctrica requiere de experiencia en la construcción, operación y control de los mismos. Así mismo el recurso eólico presenta ciertas particularidades tales como la aleatoriedad, que los equipos se interfieren unos a otros y que resulta técnicamente difícil su acumulación.

Esto llevó a que la Universidad de la República planteara a UTE la posibilidad de construir una granja eólica piloto. Se decidió entonces solicitar apoyo financiero al CONICYT, los cuales complementaron los aportes que realizó UTE a tal fin.

La localización de la planta piloto, que se seleccionó a partir de los resultados que se obtuvieron en los estudios de evaluación del programa desarrollado. Se eligió el Cerro de los Caracoles ubicado en la Sierra de los Caracoles en el departamento de Maldonado a una altura de 303 metros, latitud S 38G 47' y longitud W 61G 07'.

La dueña de la propiedad privada, cedió en comodato una parte de la misma a la Universidad de la República para llevar adelante el proyecto. La Intendencia Municipal de Maldonado colaboró con la realización de parte de la caminería requerida y con parte de los materiales para realizar la línea eléctrica. Los restantes materiales para la construcción de la línea eléctrica fue también provista por la UTE.



El proyecto se encaró con fines técnicos y científicos, no buscando necesariamente la maximización de la generación de energía sino un mejor conocimiento de las implicancias de la operación de este tipo de planta en un sistema interconectado, el desarrollo de mejores herramientas de simulación y la verificación de la metodología empleada en los estudios de evaluación

### Datos generales del equipamiento

El aerogenerador elegido para la planta piloto fue suministrado por la empresa Agroas S.A. por licitación. Las características técnicas del mismo son las siguientes :

Modelo	: NORDEX N27
Origen	: Dinamarca
Potencia nominal	: 150kW
Diámetro del rotor	: 27 m
Longitud de palas	: 12,8 m
Peso de palas	: 1,35 Toneladas
Número de palas	: 3
Peso	: 12,5 Toneladas
Voltaje nominal	: 400 V
Frecuencia nominal	: 50 Hz
Altura	: 30 m
Sistema de control	: Stall



Este sistema, de acuerdo a la curva de funcionamiento que presenta y a las características del viento en el sitio, puede generar del orden de 700 MWh por año. Se construyeron 5 km de línea de 15 kV para llegar a la red de UTE en la región y una subestación MT/BT de 250 kVA para elevar la tensión generada por el generador de 0,4 a 15 kV. El aerogenerador se encuentra ubicado aproximadamente a 10 km de ruta nacional más próxima.

La instalación de este aerogenerador permitió generar experiencia en el país respecto al montaje, operación y control, así como capacitar a personal local en el ensayo de este tipo de dispositivos y estudiar las características de la energía generada. Asimismo, permite incorporar al país una tecnología que en el futuro podría incluso ser desarrollada localmente.

### Financiación y contribuciones

UTE	U\$\$ 120.000, materiales básicos para la construcción de la línea rural y apoyo logístico.
CONICYT - BID	U\$\$ 397.000
INTENDENCIA MUNICIPAL DE MALDONADO	Caminería rural y materiales eléctricos complementarios para la construcción de la línea.
ANTEL	Líneas telefónicas para el monitoreo remoto, celulares dedicados, torre de 50 m con baliza y pararrayos.

### Análisis de los datos registrados

Los registros del aerogenerador se iniciaron el día 21/03/2000 y finalizaron el 16/02/2001. En ese período los datos registrados fueron los siguientes :

total horas anuales : 8.760 horas  
total del registro : 332 días  
totales del registro : 7.972 horas  
generación : 3.279 horas  
sin generar : 4.198 horas  
parado : 495 horas

factor de performance: 0,41  
factor de utilización : 0,22  
energía generada : 268 MWh  
mantenimiento anual : 16 horas/año

El factor de performance ha sido calculado como la relación entre las horas de generación sobre as totales del registro y el factor de utilización como la relación entre la energía producida en el período sobre la energía generada a potencia nominal.

### Características del sistema

El sistema de monitoreo del aerogenerador trabaja sobre el control de ciertos parámetros que tienen preestablecidos ciertos valores en determinados rangos por defecto. En la

medida que las lecturas se apartan de estos rangos de valores el sistema toma acciones sobre el generador y produce ciertas alarmas. En caso de ser necesaria la reposición del generador ésta puede ser automática, manual o remota, que dependerá del tipo de situación que se haya generado.

Por ejemplo, si se trata de la velocidad de sobregiro, que es uno de los parámetros que pueden generar alarmas, la velocidad de giro del rotor es siempre mayor que la del generador. En caso de que se sobrepasen los límites establecidos para la velocidad del generador, la reposición es manual. No en todos los casos la reposición es manual, como se decía anteriormente, dependerá de la situación que se genere, por ejemplo por “line drop”, es decir por la salida de la línea de 15 kV, la reposición es automática, mientras que por “overspeed”, es decir sobre velocidad la reposición es manual.

El sistema tiene un dispositivo de bloqueo que en caso de tormentas, la punta de las palas se ponen en posición de bandera y esto hace que el generador se detenga y se frene. También se disponen de rutinas de mantenimiento que se le practican cada seis meses de operación, dentro de las cuales se incluyen pruebas de paradas forzadas.

Se debe tener especial cuidado al momento de analizar las fallas en lo que se refiere a su cantidad porque algunas de ellas se acumulan en más de un ítem, por eso la cantidad de fallas no son sumables mientras que los tiempos atribuidos sí lo son.

En cuanto al área que se necesita libre a los efectos de instalar y generador eólico hay que pensar en disponer de un área que tenga 3 diámetros de ancho por 5 a 7 diámetros de largo donde el ancho se mide en la dirección del viento.

## **Remuneración de la aerogenerador**

Los valores que a continuación se presentan fueron determinados por el Despacho Nacional de Cargas dentro del período de registro del aerogenerador :

Precio Spot Uruguayo : U\$S 4.500, ingreso variable 17,0 U\$S/MWh  
Precio Estacional : U\$S 7.000, ingreso variable 26,5 U\$S/MWh

Considerando las mismas condiciones de operación que corresponden al período de registro comprendido entre el 21/03/2000 y el 16/02/2001, en lo que se refiere a las condiciones climáticas, causa de indisponibilidad forzada, se estima que sobre la base de una generación en el período de 268 MWh la remuneración correspondiente sería la siguiente :

U\$S 4.600 al precio Spot Uruguayo  
U\$S 7.100 al Precio Estacional

Es oportuno destacar que considerando la remuneración obtenida al Precio Estacional que sería la más favorable, mantenida durante 20 años no llegaría a recuperar la inversión de UTE incluyendo los materiales básicos aportados para la construcción de la línea rural. Esto demuestra la necesidad de pensar en instrumentar una política de subsidios para este tipo de energía alternativa.

## Análisis de las incidencias en 15 kV

El aerogenerador se encuentra conectado a la subestación N°3221574 que eleva la tensión desde la tensión de generación en 400 Voltios a 15 kV. Esta a su vez se conecta a las salida S11 de la ES 3032 IMSA de San Carlos a través de una línea de 15 kV. De esta forma la energía generada por el aerogenerador ingresa a la red del sistema nacional.

De las incidencias registradas en el CMD de la Gerencia Este, afectan al funcionamiento del aerogenerador tanto las incidencias a nivel de la S11 de la ES 3032 como las que afectan la SB 3221574 a la que se conecta directamente el aerogenerador.

De las incidencias analizadas a nivel de la S11 de la ES 3032, sólo afectan al aerogenerador aquellas en las que sale totalmente la salida, por lo tanto las demás se descartarán. Cabe destacar que la S11 tiene como protección un reconector, por lo tanto los reenganches del mismo que también afectan al aerogenerador no quedan registrados y existe forma de estimarlos.

Del análisis de las citadas incidencias surge el siguiente resumen :

### Salida S11 – Estación 3032

<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>
Conexión de nuevas instalaciones	1
Reparación de materiales dañados	2
Arboles	6
Tormenta eléctrica	7
Tormenta de viento	2
Nidos	1
Disparo desconocido	33
Fallo de material	9
Fase a tierra	12
Fusibles	4
<b>Total de incidencias 21/03/2000 – 16/02/2001</b>	<b>77</b>

### Subestación 3221574

<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>
Reparación de materiales dañados	2
Maniobras	1
Seguridad en otros trabajos	1
Problemas en transmisión	2
Arboles	6
Tormenta eléctrica	8
Tormenta de viento	4
Nidos	1
Disparo desconocido	51
Fallo de material	33
Fase a tierra	24
<b>Total de incidencias 21/03/2000 – 16/02/2001</b>	<b>133</b>

Por lo tanto se concluye que en el período de registro se tuvieron **210 incidencias** que afectaron el funcionamiento del aerogenerador. Con respecto a la cantidad de incidencias obtenidas es de esperar en una línea rural de estas características con múltiples ramales y una potencia instalada considerable del orden de 1450 kVA, que sin lugar a dudas no es lo más apropiado si se piensa en que el aerogenerador suministre energía a la red en forma permanente. Lo aconsejable sería construir una línea tipo bóveda con columnas de hormigón, pero su costo resulta demasiado elevado como para que con la remuneración obtenida con la energía generada pueda recuperarse, teniendo presente que ésta no llega a recuperar la inversión realizada por UTE.

## **Conclusiones y perspectivas**

La generación de energía eléctrica con el viento no produce gases tóxicos, no contamina el medio ambiente, no contribuye al afecto invernadero, aunque sí produce un impacto visual inevitable ya que por sus características precisa emplazamientos que normalmente resultan ser los que evidencian la presencia de las máquinas (cerros, litoral o superficies extensas).

En este sentido la implantación de energía eólica en gran escala como ser el caso de las granjas eólicas, puede producir una alteración clara sobre el paisaje, que deberá ser evaluada en función de la situación previa existente en cada localización definida para las futuras plantas. Las aves no representan un problema para este tipo de energía alternativa porque existen métodos que permiten evitar que las corrientes migratorias de éstas impacten con los aerogeneradores. Para ello existen soluciones como pintar las palas con colores llamativos, situar los aerogeneradores dejando pasillos para las aves, e incluso en casos extremos hacer un seguimiento por radar de las aves para parar las turbinas para evitar las colisiones.

Por otra parte, la cantidad de incidencias obtenidas en el período de estudio en la red de 15 kV, por donde la energía generada ingresa a la red del sistema nacional, demuestra la necesidad de pensar en un tipo de línea en “bóveda” en columnas de hormigón, siempre que se piense en la instalación de una granja eólica, donde se agrupan aproximadamente 10 o 20 generadores con potencias mínimas del orden de 750 kW que vierten su energía en forma conjunta a la red. Esta potencia varía rápidamente ya que los fabricantes trabajan permanentemente en reducir sus costos hacia a potencias mayores, reduciendo el impacto visual y el ruido aerodinámico.

Esto hace que sea necesario pensar en subvenciones a nivel de gobierno para que este tipo de generación sea competitiva con las formas convencionales de generación.

El costo de instalación de los generadores de este tipo se ha reducido con las nuevas tecnologías empleadas para desarrollarlos donde actualmente se manejan valores del orden de 800 U\$S/kW instalado para una granja eólica que esté compuesta por 10 o 20 generadores de 700 kW cada uno, incluyendo en este costo los de infraestructura de caminería y obra civil necesarias.

En Italia, una de las granjas eólicas más grandes que ha sido instalada en el año 1995 tiene un costo de instalación de U\$S 4.100.000, con una potencia total instalada de 3.500 kW

(10 aerogeneradores de 350 kW), costo por potencia instalada de 1.170 U\$\$/kW , con una generación anual de 6.500.000 kWh. Esta energía es vendida al mercado a 0,11 U\$\$/kWh durante los primeros 8 años (a partir del 9° año pasa a ser 0,53 U\$\$/kWh), siendo el período de amortización de la planta 20 años.

En cuanto a la superficie requerida para este tipo de emprendimiento, se necesitan de 7 a 10 MW/km<sup>2</sup> del cual sólo el 1% es utilizado por la planta. También se requiere para su ubicación de ciertas distancias a respetar por el nivel de ruido del aerogenerador. Se recomienda en general instalarlos a 300-400 m de zonas habitadas, 400-500 m de zonas residenciales y 1.000 de zonas residenciales turísticas.

Normalmente estos equipos trabajan con velocidades de viento mínimas del orden de 4 a 5 m/s donde comienzan a funcionar hasta velocidades de 20 a 25 m/s a las cuales sale fuera de servicio por razones de seguridad. Estos valores son promedio de los diferentes fabricantes, pudiendo variar estos límites de uno a otro. En cuanto a la cantidad de palas lo que predomina en general son los de tres palas.

Resumiendo, las claves para el éxito de la generación eólica son :

- Financiación
- Tecnología
- Estímulos estatales
- Medio ambiente
- Recurso ilimitado

**Financiación** : El costo actual por kW instalado es del orden de 800 a 1.000 U\$\$ por kW. Por lo general en el mundo este tipo de generación es adoptada por cooperativas o municipios lo que hace que las inversiones sean muy importantes en relación a su capacidad financiera. Por eso es que las empresas proveedoras están dispuestas a proporcionar con su propuesta una fuente de financiamiento externo, con tasas sensiblemente más bajas.

**Tecnología** : Los aerogeneradores de última generación tienen avances sustanciales con respecto a los primeros modelos. Estos van desde una reducción importante en sus partes con fricción hasta sistemas automáticos de frenos para afrontar mejor los picos de viento.

Además se han incorporado estabilizadores de tensión, nuevos diseños de palas con materiales que emiten menos ruidos, y sobretodo palas inteligentes que se adecuan automáticamente para poder aprovechar al máximo el viento. Actualmente se fabrican potencias mínimas que están en el entorno de 750 a 850 kW.

**Estímulos estatales** : Se deberán definir normas legales que declare de interés nacional la generación de energía eléctrica de origen eólico en todo el territorio nacional y la de las eventuales energías alternativas que también puedan ser consideradas de interés.

Esta deberá promover el uso e investigación de este tipo de energía. Se puede favorecer las inversiones de capital asociadas a su instalación permitiendo diferir el pago de impuestos como el impuesto del valor agregado por un período de tiempo y subvenciones del estado.

**Medio ambiente** : Se centra en los aspectos sonoros, visuales y de las aves, tema que ya hemos comentado anteriormente planteando las posibles soluciones.

**Recurso ilimitado** : Afortunadamente el viento es un recurso renovable infinito y sin costo. De los estudios de vientos realizados oportunamente deberán seleccionarse las posibles zonas de instalación de este tipo de plantas.

Esta es la primera experiencia que tiene UTE en la utilización de energías renovables. El desempeño del aerogenerador ha sido satisfactorio, cumpliendo con las prestaciones indicadas por el propio fabricante. La experiencia ha sido muy valiosa porque ha permitido evaluar no sólo el desempeño del aerogenerador ante las variaciones climáticas y las fallas de la red eléctrica, sino que además queda demostrado que con el nivel de remuneración esperado en el mejor de los casos en un período de 20 años no se llega a recuperar lo que UTE ha invertido y menos aún la inversión total del proyecto.

A partir de los resultados obtenidos con la planta piloto, podría pensarse de hacer una evaluación técnica y económica para la construcción de una granja o parque eólico en el mismo sitio o en otro sitio a definir dentro de los corredores de viento. Para ello resulta de vital importancia capitalizar las experiencias obtenidas con este aerogenerador y sobre todo lo que se relaciona con el tipo de línea a construir para la inserción de la energía generada al sistema nacional.