

# Análisis técnico económico preliminar para generar electricidad con energía renovable

**M. Menéndez González**

Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables (CETER), Facultad de Ingeniería Mecánica ,  
Instituto Superior Politécnico "José A. Echeverría ", (ISPJAE).  
Calle 127 s/n , Marianao 15 , Ciudad de la Habana, Cuba  
Email: mercedes@ mecanica.ispjae.edu.cu  
Fax: 537 -272964

(Recibido el 25 de diciembre de 1998; aceptado el 12 de julio del 1999)

## Resumen

Dentro de las posibilidades energéticas y medioambientales de los distintos tipos de energías renovables; la eólica por su carácter limpio e inagotable, permite un gran desarrollo en aquellas áreas que cuentan con el potencial necesario para su aplicación y de forma similar, la energía solar presenta ventajas importantes, ambas son recursos gratuitos, no contaminantes y disponibles en muchas localidades. Según las tecnologías actualmente disponibles, la utilización de sistemas híbridos de energía solar fotovoltaica y eólica presenta mayor interés hoy en día para cubrir consumos aislados.

Este trabajo trata sobre la posibilidad de utilización de los sistemas híbridos eólico- fotovoltaicos para la generación de electricidad en Cuba, ya que se plantea el diseño de una instalación energética que satisface los requerimientos de una instalación turística ubicada en Cayo Sabinal, al norte de la provincia de Camagüey, conocidos los recursos eólico y solar de la zona.

Se hace una valoración económica para seleccionar la mejor combinación eólico - solar y se compara ésta con otras formas de generación de electricidad (Planta Diesel y un Sistema Eólico independiente), siendo el sistema híbrido el más económico.

**Palabras Claves:** Energía renovable, sistemas híbridos, sistemas autónomos, recursos renovables, costos de energía, contaminación ambiental.

## 1. Peculiaridades de la demanda de energía en la instalación turística

Para dimensionar el sistema se analizará una instalación turística de un hotel de 250 habitaciones típicas, con un consumo total de 1775 Wh/día. La demanda máxima mensual que va a tener el hotel se obtiene evaluando la siguiente ecuación :

$$E_{\text{mensual}} = \frac{(PH \cdot N \cdot HE)}{12} \quad (1)$$

donde PH- potencia demandada en la habitación (kW)

N- Número de habitaciones

HE- Horas equivalentes al año.

Se determinó la distribución mensual de la demanda acorde al porcentaje de ocupación del hotel, cuyos resultados se muestran en la Tabla 1. En función de ésta distribución se calculó la aportación eólica mensual.

Se evaluaron una serie de máquinas existentes en el mercado obteniéndose las entregas de energía mensual para la distribución de velocidades existentes en el lugar. Se procesaron éstos resultados y se seleccionó la máquina más eficiente en función de los indicadores antes mencionados. Los resultados de las mejores máquinas se muestran a continuación en la tabla 2.

**Tabla 1-** Distribución mensual de la demanda energética.

Meses	Días	% Ocupación	Demanda (Kw/h/mes)
Enero	31	0.90	180 000
Febrero	28	0.80	160 000
Marzo	31	0.70	140 000
Abril	30	0.60	120 000
Mayo	31	0.60	120 000
Junio	30	0.60	120 000
Agosto	31	0.80	160 000
Septiembre	30	0.80	160 000
Octubre	31	0.90	180 000
Noviembre	30	0.90	180 000
Diciembre	31	0.90	180 000

**Tabla 2-** Resultados de las 10 mejores máquinas eólicas evaluadas en Cayo Sabinal.

Indicadores	Lugar				
	1	2	3	4	5
Prod/Pot <sub>inst</sub> (kWh/kW).	Floda 600 3156.9	Ventis20/100 3104.0	WindW2700 2970.1	Breath 150 2925.84	MiconM530 2843.96
Prod/Area (kW h/m <sup>2</sup> )	MiconM530 1339.1	WindW750 1170.9	Floda 600 1159.8	MiconM750 1149.3	Enercon 40 1068.2
Prod/Peso <sub>tot</sub> (kWh/Kg)	MiconM530 32.764	Lagerwey 27 27.094	MiconM750 23.998	Floda 600 22.821	Nordtank500 22.768
Prod/Peso <sub>st</sub> (kWh/Kg)	MiconM530 418.23	Lagerwey 27 83.448	Ventis20/100 77.600	MiconM750 71.401	Floda 600 66.813
Factor de capacidad (%)	Floda 600 36.038	Ventis20/100 35.434	WindW270 33.905	Breath 150 33.400	MiconM530 32.465
Prod/Costo <sub>t</sub> (kWh/DM)	MiconM530 1.7132	MiconM750 1.5491	Nordex 52 1.4600	Lagerwey 27 1.3370	MiconM570 1.3318

Del análisis de la tabla anterior se demuestra que la mejor opción entre las máquinas analizadas corresponde con la turbina Micon M 530. Conocido el potencial

eólico existente y cuyos valores se plantearon anteriormente, se evalúa la máquina antes mencionada, lo cual se muestra en la tabla 3.

**Tabla 3-** Evaluación de la máquina Micon M530 [4],[5]

Mes	Factor de capacidad (%)	Vel. Med. m/s	K	C	Pot. Media (kW)	Energia Media kW/h
E	26.83	6.48	2.39	7.32	67.07	42 204.6
F	35.12	7.32	2.54	8.27	87.79	55245.4
M	47.13	8.53	2.74	9.62	118.57	74 618.2
A	49.85	8.77	2.78	9.89	124.63	78 429.9
M	36.34	7.45	2.56	8.41	9.85	57 170.7
J	36.34	7.45	2.56	8.41	9.85	57 170.7
J	47.43	8.53	2.74	9.62	118.57	74 618.2
A	42.51	8.05	2.67	9.08	106.28	66 881.7
S	33.9	7.2	2.52	8.13	84.75	53 331.2
O	23.5	6.12	2.33	6.92	58.75	36 969.1
N	35.12	7.33	2.54	8.27	87.79	55 245.4
D	37.57	7.57	2.59	8.54	93.92	59 104.7

Donde K y C - Parámetros de Weibull.

Fué escogido el Cayo Sabinal para el emplazamiento del sistema, ya que se cuentan con mediciones de viento muy fiables en el lugar, que demuestran que el mismo tiene disponible un gran potencial eólico, además por sus características naturales que hacen del mismo un lugar de importante interés turístico. El punto donde se realizaron las mediciones se ubica en el litoral norte de Cayo Sabinal en un lugar conocido como Playa Los Pinos, en los  $21^{\circ} 38'$  de latitud Norte y los  $77^{\circ} 15'$  de longitud 0 a unos 16 km al NNO de la ciudad de Nuevitas. Para que el diseño del sistema híbrido sea adecuado deben analizarse todas las variantes posibles y seleccionar dentro de éstas la más económica. Por ello se analizó la distribución mensual de la aportación eólica en función del número de turbinas y se determinó la distribución mensual de la energía solar necesaria, en este caso se seleccionaron módulos fotovoltaicos M 55L, con las siguientes características técnicas

Tecnología de fabricación - Celdas silicio monocristalino.

P<sub>máx</sub>- 53 Wp (+/-) 10%.

I<sub>p<sub>máx</sub></sub>- 3.05 A. T<sub>p<sub>máx</sub></sub>-17.4 V.

I corto cto -3.27 A. T cto abierto- 21.8 V.

No. de celdas - 36.  $\eta = 12.5 \%$ .

Longitud- 129.4 cm. Ancho- 32.8 cm.

Espesor- 5.2 cm.

Peso- 5.7 kg.

Firma comercial - Atersa.

Garantía - 5 años .

## 2. Análisis de la aportación energética en las diferentes alternativas de diseño

Un análisis de los resultados de las tablas 4, 5 y 6 (utilización de 2, 3 y 4 aerogeneradores), nos indica que existen 7 meses del año en los que no es necesario la energía solar fotovoltaica, incluso en el mes de mayor aportación de energía eólica (abril), existe un sobredimensionamiento prácticamente de 95 %, sin embargo en el mes crítico de viento (Octubre), la necesidad de energía solar fotovoltaica se encuentra en un 38 %. Según [12] se recomienda la utilización de estos sistemas con una distribución de energía del viento que oscila entre (60 - 80) % y una aportación solar entre (20 -40) % como promedio[1, 2, 3].

No obstante el elemento que determina la mejor variante en el diseño es la valoración económica de las diferentes alternativas lo cual se plantea a continuación.

**Tabla 4-**Análisis de la aportación energética si se utilizan 2 máquinas eólicas.

Mes	E.eólica (kWh/mes)	% E.eólica	E.solar (kWh/mes)	% E.solar
E	84 409.2	46.8	95 590.7	53.1
F	110 490.9	69.0	49 509.1	30.9
M	149 236.5	106.0	0	0
A	156 859.8	130.0	0	0
M	114 341.4	95.2	5658.6	4.7
J	114 341.4	95.2	5658.6	4.7
J	149 236.5	106.0	0	0
A	133 763.5	83.6	26236.5	16.3
S	106 662.4	77.7	53 337.5	33.0
O	73938.22	41.0	106 061.78	58.92
N	110 490.0	61.3	69509.1	38.6
D	118 209.4	61.3	617906.1	34.32

**Tabla 5-** Análisis de la aportación energética si se utilizan 3 máquinas eólicas.

Mes	E.eólica (kWh/mes)	% E.eólica	E.solar (kWh/mes)	% E.solar
E	126 613	73.3	53 387	26
F	165 735.7	102	0	0
M	223 854.7	159	0	0
A	235 290	196	0	0
M	171 511.5	142	0	0
J	171 511.5	142	0	0
J	223 854.7	159	0	0
A	200 645	125	0	0
S	159 993	89	20 007	11
O	110 907	61.6	169 093	38
N	165 735.7	92	114 264.3	7.9
D	177 313.5	98.5	2 686.5	1.5

**Tabla 6-** Análisis de la aportación energética si se utilizan 4 máquinas eólicas.

Mes	E.eólica (kWh/mes)	% E.eólica	E.solar (kWh/mes)	% E.solar
E	168 818	93.8	11 182	6.2
F	220 981	138	0	0
M	298 473	213	0	0
A	313 719	261	0	0
M	228 682	190	0	0
J	228 682	190	0	0
J	298 473	213	0	0
A	267 527	167	0	0
S	213 324	133	0	0
O	147 876	82.15	32 124	17.84
N	220 981	122	0	0
D	236 418	131	0	0

### 3. Comparación económica entre las diferentes alternativas del sistema híbrido

Se determinaron los costos [7, 8, 9, 10, 11] de los distintos elementos que intervienen en una instalación eólico- fotovoltaica en función del número de aerogeneradores.

En las tablas 7, 8 y 9 se muestran los costos totales, así como el valor \$/ kw/h / año, en cada variante, lo que nos indica que la mejor alternativa económica es el sistema híbrido compuesto por 3 máquinas eólicas tipo

Micon M530 y 348 954 paneles fotovoltaicos M55L de 53 Wp, lo que significa una distribución de energía en el mes más crítico de 38 % de Energía Solar Fotovoltaica y 62 % de energía eólica. Los costos de generación en esta distribución tienen un valor de \$/kW-h/ año = 0.49, lo cual es posible, si se tiene en cuenta que existen instalaciones de este tipo en Miami, entre otras, con valores de \$/ kw-h/año = 0.79 [12]. Una vez determinada la mejor alternativa de los componentes de sistema híbrido, se pasa a comparar este sistema híbrido con otras fuentes energéticas renovables (ver tabla 7).

**Tabla 7-**Resultados finales del cálculo económico del sistema híbrido para las diferentes alternativas.

Costos Totales ( USD )	Número de turbinas		
	2	3	4
Sistema Eólico	399 866.4	798 664. 3	1 197 462
Sistema fotovoltaico	6 509 967.9	37 369.3	205 890.5
Sistema de almacenamiento	487 424	161 540	75 173.3
S.P.I*	195 000	195 000	195 000
Totales	1 592 258.3	1 192 573	1 673 525.8
\$/kW/h/año	0.66	0.49	0.7

S.P.I\* - Sistema de potencia inteligente (es un controlador electrónico para garantizar el funcionamiento del sistema)

**Tabla 8-**Comparación económica entre el sistema híbrido seleccionado y una fuente de energía convencional (Planta Diesel)

	Sistema Híbrido	Planta Diesel
Costos totales (USD)	1 192 573	6296270
\$/ kWh/a	0.49	2.62

Los resultados de la comparación económica son los siguientes (Tabla 8 y 9):

**Tabla 9-**Comparación económica del sistema híbrido y una fuente energética no convencional (Sistema eólico independiente).

	Sistema Híbrido	Sistema Eólico
Costos totales (USD)	1 192 573	2 543 862.6
\$/ kWh / año	0.46	1.05

Se observa que el Sistema híbrido es más económico que un sistema eólico independiente que garantice los requerimientos del sistema.

## 4. Conclusiones

1- Se demuestra la utilización de los sistemas híbridos eólico-fotovoltaico en Cuba, ya que no provocan afectaciones negativas en el medio físico por la no existencia de gases contaminantes, además de ser un medio de generación de electricidad sin la utilización

de petróleo, por lo tanto se disminuyen los costos de importaciones por este concepto.

2- Se analizaron una serie de combinaciones para el diseño de un sistema híbrido eólico- fotovoltaico y se, demuestra que para una instalación turística con las características señaladas, con la distribución de recursos eólicos y solar que se analizó, la mejor combinación para este sistema es aquella que cumpla un 62 % de aportación de energía eólica y 38 % de aportación de energía solar fotovoltaica en el mes más crítico, lo que se garantiza con la utilización de 3 aerogeneradores, a partir del equipamiento estudiado (tabla 10).

**Tabla 10-** Número de turbinas eólicas.

Costos ( USD)	2	3	4
Totales	1 592 258.3	1 192 573.0	1 673 525.8
\$/kW h/año	0.66	0.49	0.7

3- Se compara el sistema híbrido con una fuente de energía eléctrica convencional (Planta Diesel) y se observa que el primero es económicamente mejor que el sistema convencional, por concepto de costo de generación, además desde el punto de vista ecológico

estos sistemas son más ventajosos, ya que no existe afectación sobre el medio circundante.

4- Al realizarse la comparación entre el sistema híbrido seleccionado y un sistema eólico independiente que garantice la demanda, es más económico el sistema híbrido.

## Bibliografía

1. Colectivo de autores, Cuaderno de Energías Renovables No. 4, Manual de Energía Eólica, IDAE, Madrid, 1992
2. Colectivo de autores, Cuaderno de Energías Renovables No. 6, Manual de Energía Solar Fotovoltaica, IDAE, Madrid, 1992.
3. Conferencia de E. Solar Fotovoltaica, Francia, 1995.
4. Conferencia de E. Solar Fotovoltaica, Italia, 1988.
5. Conferencia de Dr. Preben Maegard, ISPJAE, 1996.
6. Conferencia de Dr. Preben Maegard, Cienfuegos, 1997.
7. Menéndez, M. "Sistemas Híbridos Eólico-fotovoltaicos con fines ganaderos, En Memoria de, "Evento Internacional de Ing. Agrícola, AGROMEC'95, Habana, Junio 1995.
8. Menéndez, M., "Sistemas Híbridos Eólico-fotovoltaicos para la generación de electricidad. Características y utilización en el mundo actual", Revista Energética, CUBA, 1995.
9. Menéndez, M. "Utilización of Hybrid System in Cuba", International Journal of Solar Energy, 1996, pag (211- 216 ).
10. Menéndez, M., Tesis de Maestría "Sistemas Híbridos Eólico- fotovoltaicos para la generación de electricidad", ISPJAE, Junio 1996 .
11. Menéndez, M., "Influencia de los Sistemas Híbridos Eólico- fotovoltaicos en el medio ambiente", En Memoria del 1er Taller Caribeño de Energía y Medio ambiente, Cienfuegos, 1997.
12. Swift, A.H., Art "Diseño de sistemas híbridos productores de energía", Universidad de Texas, E.U., 1993., pp (175 -181).

## Preliminary technical economic analysis to generate electricity with renewable energy

### Abstract

Inside the energy and environmental possibilities of the different types of renewable energy; the eolic one for it clean and inexhaustible character, allows a great development in those areas with the necessary potential for their application and, in a similar way, the solar energy presents important advantages. Both are gratuitous resources, non-pollutants and available in many countries. According to the available technologies, the use of hybrid systems of photovoltaic and eolic solar energy presents interest to cover isolated consumptions.

This work is about the possibility of use of the eolic photovoltaic hybrid systems for the electricity generation in Cuba. The design of an energy installation that satisfies the requirements of a tourist installation located in Sabinal Key (north of Camagüey), is presented.

An economic valuation is made to select the eolic better combination and this is compared with other forms of electricity generation (Diesel Plants and an independent Eolic System), being the hybrid system the most economic.

**Key words:** Renewable energy, hybrid systems, autonomous systems, renewable resources, energy costs, environmental contamination.