

# Sistema híbrido eólico-diesel para el abastecimiento de energía eléctrica de 20 cabañas turísticas en Cayo Caguamas.

**R. Alarcón Fernández.**

Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. Facultad de Ingeniería Mecánica.  
Centro de Estudios de Tecnologías Energéticas Renovables (CETER).  
Calle 127 s/n CUJAE Marianao, C Habana, Cuba.  
Telef. : 20 5060

(Recibido el 2 de Julio del 2000, aceptado el 10 de Abril del 2001).

## Resumen

Se presentan los aspectos técnicos y económicos de la planificación de un sistema híbrido eólico-diesel para el abastecimiento de energía eléctrica de 20 cabañas turísticas en Cayo Caguamas. Se determina la demanda de energía y la curva de carga de la instalación turística. Se dimensiona un sistema híbrido eólico-diesel formado por 6 aerogeneradores de 10 kW y dos generadores Diesel de 75 kW cada uno. Finalmente se determina la influencia de la variación de algunos parámetros importantes sobre la rentabilidad del proyecto

**Palabras claves:** Sistema eólico-diesel, generación eléctrica, aerogeneradores, planificación económica.

## 1. Introducción.

La energía eólica está ampliamente difundida en muchos países como la más prometedora de las energías renovables. Una gran variedad de máquinas de diferentes diseños están siendo usadas en un amplio rango de aplicaciones. Los aerogeneradores más ampliamente usados en el abastecimiento de energía de comunidades alejadas de la red eléctrica son los de pequeño y mediano tamaño. En muchas comunidades remotas, los consumidores se abastecen por medio de grupos electrógenos Diesel que son costosos y difíciles de mantener. Esto es particularmente así cuando el suministro de energía a un pequeño número de consumidores tiene un alto valor pico por encima de la demanda promedio. Además debido al difícil acceso a muchas de estas regiones el transporte de combustible puede ser también un gran problema en algunas de estas comunidades. En este caso se trata del abastecimiento de energía eléctrica a una instalación turística de 20 cabañas en Cayo Caguamas.

## 2. Desarrollo.

Como se mencionó anteriormente el objetivo del estudio fue el diseño de un sistema híbrido eólico-diesel

para el abastecimiento de energía de una instalación turística que será construida en Cayo Caguamas. Cayo Caguamas se encuentra situado al sur de la provincia de Camagüey a  $20^{\circ} 35'$  latitud Norte y  $78^{\circ} 25'$  longitud Oeste. La isla tiene aproximadamente 15 km. de largo y 3 km. de ancho. Los principales consumidores de energía eléctrica en la instalación turística son: 20 cabañas turísticas, cocina-restaurant, almacenes, iluminación de exteriores. Además se prevé la instalación de una planta para la evacuación de los desechos y se pretende la introducción de vehículos eléctricos para paseos por el Cayo. Para el pronóstico de la demanda de energía eléctrica han sido agrupados todos los consumidores por área de trabajo y se calculó el consumo de energía total de la instalación. Un resumen de las áreas principales de la instalación turística se muestran en la tabla 1.

**Tabla 1** Consumos de energía por áreas.

Área	Consumo (kWh / día)
Cabañas turísticas	516,46
Planta de desechos	176
Cocina, Restaurante, Almacén	261,14
Iluminación de exteriores	73,6
Oficina	11,35
Consultorio médico	26,75
Autos eléctricos	106,7
Total	1172

La figura 1 muestra la característica de consumo de energía eléctrica de un día. Se observa un valor pico de

91,3 kW a las 22:00 horas. El mayor consumo se registra entre las 22:00 horas y las 00:00 horas.

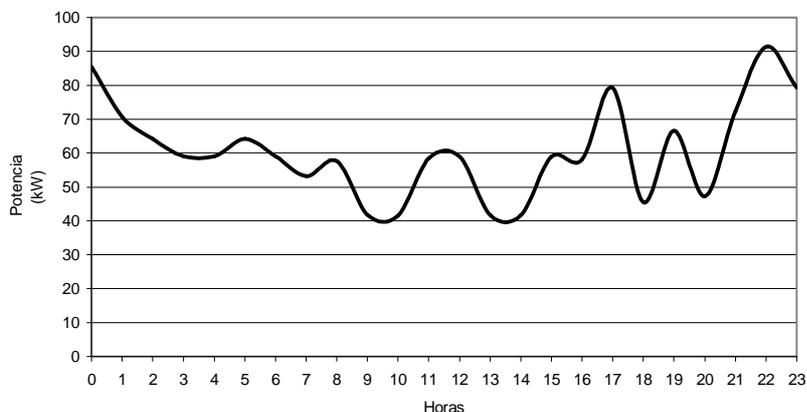


Figura 1. Curva de carga diaria.

### 3. Datos de viento.

La evaluación del potencial eólico en el posible lugar de emplazamiento es el primer paso para la instalación de aerogeneradores. Esta evaluación brinda criterios importantes para la selección, el diseño y la valoración económica del proyecto. Para la evaluación del potencial eólico en Cayo Caguamas se tomaron como referencia los datos de viento de la estación meteorológica de Cabo Cruz del atlas eólico de Cuba[1]. Esto se debió a la similitud topográfica de dicha estación con el futuro lugar de emplazamiento de los aerogeneradores, aspectos de importancia relevante para zonas costeras. Los datos de viento fueron medidos cada 3 horas durante un período de 10 años. Aplicando el método de los mínimos cuadrados resultó un parámetro

de forma  $k = 1.82$  y un parámetro de escala  $c = 5.85$  m/s que conforman la distribución anual de Weibull en Cabo Cruz. De la misma manera fueron calculados los valores mensuales de estos parámetros. Con la ayuda del modelo físico del atlas eólico de Cuba; se corrigieron los parámetros de escala de las distribuciones mensuales de Weibull debido al doble cambio de rugosidad superficial desde  $Z_{01} = 0.03$ , que es la rugosidad correspondiente a la estación meteorológica de Cabo Cruz hasta  $Z_{02} = 0.0002$  rugosidad de la zona de mar y nuevamente desde  $Z_{02} = 0.0002$  hasta  $Z_{03} = 0.03$  rugosidad superficial del futuro lugar de emplazamiento del aerogenerador. Los parámetros de forma no han sido afectados por esta corrección. La tabla 2 muestra los resultados de la extrapolación de los parámetros de escala  $C_i$ .

Tabla 2 Parámetros de Weibull.

Mes	K	C (m/s) Cabo Cruz	C (m/s) Cayo Caguamas
Enero	2,24	6,23	7,25
Febrero	2,30	6,60	7,58
Marzo	2,03	6,67	7,68
Abril	2,60	6,11	6,75
Mayo	2,22	5,91	6,42
Junio	2,13	6,32	6,85
Julio	2,63	5,58	6,10
Agosto	2,27	5,39	5,82
Septiembre	2,09	5,42	6,07
Octubre	1,96	5,93	6,59
Noviembre	1,45	4,79	5,39
Diciembre	1,45	4,79	5,74
Anual	1,82	5,85	6,56

La figura 2 muestra la distribución anual de Weibull de Cayo Caguamas. Esta fue determinada sin tener en cuenta los valores de velocidad de viento menores que 3 m/s, pues para el cálculo la producción de energía del

aerogenerador estos valores no son necesarios ya que dicho aerogenerador comienza a producir energía eléctrica a partir de este valor de velocidad de viento.

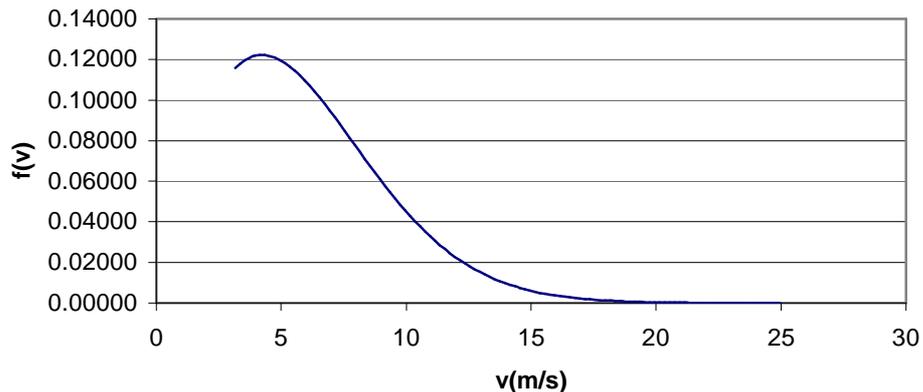


Figura 2 Curva de Weibull.

#### 4. Aerogenerador.

El aerogenerador que se propone para ser instalado en este proyecto es el Tornado T7 de 10 kW que surge como resultado de la transferencia de tecnología del Folkecenter de Dinamarca, ofrecida a Cuba a través del Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables (CETER) del ISPJAE .

El tornado T7-10kW es un aerogenerador de paso fijo con regulación por pérdidas aerodinámicas que trabaja de frente al viento con un sistema de orientación activa y un rotor de alta velocidad con tres aspas.

La figura 3 muestra la curva de potencia estimada del aerogenerador Tornado de 10kw.

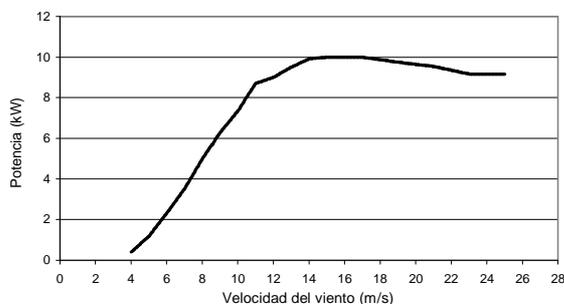


Figura 3 Curva de potencia del aerogenerador.

La producción de energía del aerogenerador[2] está en función de dos factores:

$f(V)$  = Frecuencia de ocurrencia de la velocidad del viento según la distribución de Weibull.

$P(V)$  = Curva de potencia del aerogenerador.

Estas dos funciones han sido determinadas. Para el cálculo de la producción de energía se tomó un intervalo de velocidades de 0,1 m/s con el objetivo de obtener una mayor exactitud. Se obtuvo una producción de energía de 11244,6 kw/h/año para  $k = 1,8$  y  $c = 6,56$  m/s y una disponibilidad del aerogenerador del 95%. El factor de capacidad del aerogenerador, definido como la relación entre la energía real producida y la energía que el mismo podría producir según su potencia nominal resulta de 13%.

#### 5. Generador diesel.

Para el dimensionado de la componente Diesel del sistema híbrido se han utilizado como datos de entrada la demanda anual de energía en el cayo 427 770 kw/h/año y el valor máximo de carga registrado a las 22:00 horas con un valor de 91,3kW, considerando que los generadores Diesel deben ser utilizados a un 70% de su potencia máxima y se prevé un 15% de reserva para futuros incrementos de la demanda de energía[3]. Una condición necesaria ha sido que los generadores Diesel deben cubrir la demanda de energía eléctrica

cuando no existe disponibilidad de viento. De esta forma se obtuvieron dos generadores Diesel de 75 kW, o sea 150 kW en total. Para cargas mínimas utilizaría sólo un generador Diesel y en caso de alta demanda energía se conectarían los dos grupos electrógenos.

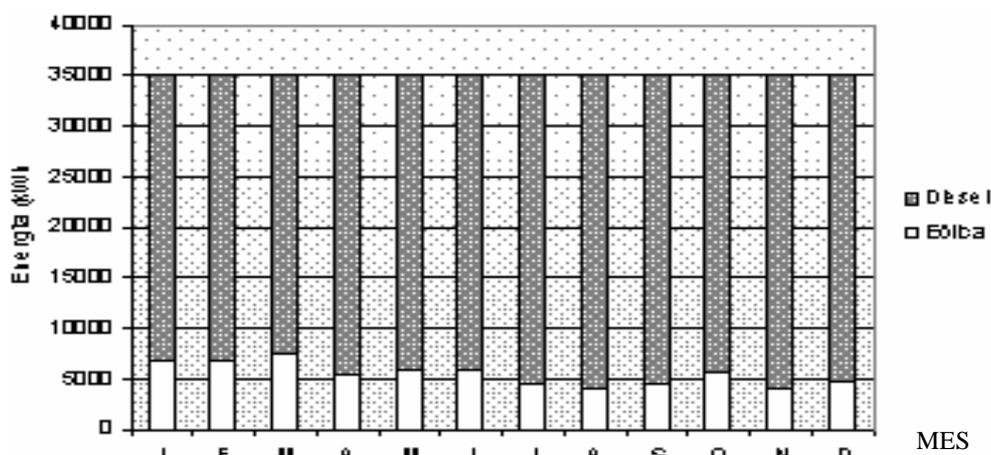
## 6. Sistema híbrido.

El sistema híbrido eólico-diesel consta de dos grupos electrógenos de 75 kW y 6 aerogeneradores de 10 kW. La tabla 3 muestra los valores mensuales de la producción de energía, del factor de capacidad y del grado de cobertura de la demanda de energía del parque eólico. La figura 3 muestra como se distribuye la

producción de energía entre el parque eólico y los grupos electrógenos Diesel. Con este sistema híbrido se logra un factor de introducción de la energía eólica del 18.6 % debido a que los generadores Diesel deben entregar un 81.4 % de la energía que se demanda. Como conclusión de este trabajo puede decirse que la realización de este proyecto partiendo de los datos empleados para realizar los cálculos resulta rentable según el método del Valor Actual Neto[4] aunque en este caso sería interesante estudiar la propuesta de introducción de otros modelos de aerogeneradores con otras potencias para establecer una comparación entre diferentes variantes del sistema híbrido en cuanto a la componente eólica se refiere, lo cual permitiría optimizar el diseño del sistema.

**Tabla 3** Producción de energía.

Mes	Producción (kw/h)	Factor de capacidad (%)	% de cobertura (%)
Enero	6781	15,19	19,29
Febrero	6687	16,59	19,02
Marzo	7544	16,90	21,46
Abril	5587	12,93	15,89
Mayo	5909	13,24	16,81
Junio	5909	13,68	16,81
Julio	4472	10,02	12,72
Agosto	4136	9,26	11,76
Septiembre	4556	10,55	12,96
Octubre	5611	12,57	15,96
Noviembre	4115	9,53	11,70
Diciembre	4765	10,67	13,55
Total	66072	12,57	15,45



**Figura 3** Distribución de la producción energética

## 7. Conclusiones.

- Con este sistema híbrido se logra un factor de introducción de la energía eólica del 18.6 % debido a que los generadores Diesel deben entregar un 81.4 % de la energía que se demanda.
- La realización de este proyecto, partiendo de los datos empleados para realizar los cálculos resulta económicamente rentable aunque en este caso sería interesante estudiar la propuesta de introducción de otros modelos de aerogeneradores con otras potencias para establecer una comparación entre diferentes variantes del sistema híbrido en cuanto a la componente eólica se refiere, lo cual permitiría optimizar el diseño del sistema.

## 8. Referencias.

1. Soltura, R. y otros: Atlas eólico de Cuba, La Habana, Cuba, 1997.
2. Petersen, E. L. y Troen, I. : Atlas eólico europeo, Riso National Laboratory, Dinamarca, 1990.
3. Pérez, C. Análisis de prefactibilidad para proyectos híbridos eólico-Diesel, La Habana, Cuba, 1996.
4. Finck, H. y Oelert, G.: Guía para el cálculo de rentabilidad de proyectos de inversión para el abastecimiento de energía. Eschborn, Alemania, 1983.

---

## **Eolic-Diesel hybrid system for electric power supply of 20 tourist cabins in Caguamas Key.**

### **Abstract**

The technical and economic aspects of the planning of an Eolic-Diesel hybrid system for the supply of electric power of 20 tourist cabins in Caguamas Key are presented. The energy demand and the load curve of the tourist installation is determined. An Eolic-Diesel hybrid system formed by six 10 kW windmills and two Diesel generators of 75 kW each one are dimensioned. Finally the influence of variation of some important parameters about the profitability of the project are stated.

**Key words: Eolic-Diesel system, electric power generation, windmillgenerator, economic planning.**

.