

TITULO: Estudio del recurso eólico en la zona costera de la provincia Holguín.

TITLE: Study on the eolian resources along the cost of Holguin Province.

AUTORES:

M.Sc. Lic. Jorge Proenza Velázquez.
Ing. José Emilio Piña Silva.
Lic. René Quevedo Paneque.
Téc. Miladis Rojas Díaz

PAÍS: Cuba

RESUMEN:

Aborda la temática de la energía eólica, fuente alternativa de energía limpia e inagotable. Se analiza la tendencia actual de la utilización de la energía eólica en el mundo partiendo de los resultados que han obtenido los países de mayor desarrollo en la explotación de este recurso natural y se exponen los avances en Cuba. Se procesan datos de cinco años de la Estación Meteorológica "Cabo Lucrecia" y se obtiene una caracterización del viento en la zona objeto de estudio utilizando métodos estadísticos-climatológicos.

PALABRAS CLAVES:

ENERGIA EOLICA, ENERGIA RENOVABLE, ENERGIA ALTERNATIVA, HOLGUIN.

ABSTRACT:

This is a study related to the eolian energy used as a clean and everlasting source of energy. We analyze present tendencies of using the eolian energy, taking into consideration the results obtained by different countries with greater development on the exploitation of this natural resource. We also expose the achievements of Cuba on this field. Here, we process the results obtained during a five year research in the Meteorological Center of Cabo Lucrecia and a characterization of the wind in the area selected as the object of our studies, using statistical and climatological methods.

KEY WORDS:

EOLIAN ENERGY, RENEWABLE ENERGY, ALTERNATIVE ENERGY, HOLGUIN

INTRODUCCIÓN:

Actualmente la energía eólica se aprovecha de dos formas diferenciadas: por una parte se utiliza para sacar agua de los pozos un tipo de eólica llamados aerobombas, donde hoy existe un modelo de máquina muy generalizado con los molinos multipalpas del tipo americano. Por otra parte, están ese tipo de

eólicas que llevan unidas al sistema un generador eléctrico y producen corriente cuando sopla el viento, las que reciben entonces el nombre de aerogeneradores o turbinas eólicas (Hernández, 1995).

Al cerrar el año 2003 la potencia eólica mundial instalada fue de 39 294 MW, y el incremento global de la capacidad instalada desde 1996 hasta el año 2003 ha alcanzado la cifra de 32 935 MW. El incremento de la capacidad instalada en los primeros 4 años del presente siglo acumuló un total de 25 794 MW en correspondencia con el desarrollo de nuevas tecnologías y el apoyo de los Estados nacionales a las energías renovables (fig.1).



Fuente: American Wind Energy Association.

La eficiencia actual lograda en los aerogeneradores ha despertado el interés de numerosas naciones en el uso del viento como un importante productor de energía eléctrica limpia, pero todavía la reducción de los costos es un sueño al que el desarrollo tecnológico futuro tendrá que dar respuesta para hacerse asequible a países del tercer mundo. Sin embargo, Cuba muestra algunos avances en los estudios de prospección eólica, en la fabricación de pequeños sistemas eólicos y lo más importante en proyectos de ejecución está en el pequeño parque eólico instalado desde 1999 en la isla de Turiguanó, provincia de Ciego de Ávila con una potencia nominal de 450 kW.

MATERIALES Y METODOS:

La información de la variable fuerza del viento se obtuvo a partir de los datos que registra la estación meteorológica de Cabo Lucrecia, que está ubicada a 4 m sobre el nivel medio del mar, y a 19 km al NNE de la ciudad de Banes en la provincia Holguín. Sus coordenadas geográficas son: latitud 21°04'02" Norte y longitud 75°37'3" Oeste. Se utilizó para la medición de los datos climatológicos un anemómetro M-49 de fabricación rusa (ubicado a 10 m de altura sobre la superficie) en buen estado de conservación, aunque la cercanía al mar impone que se le realicen mantenimientos periódicos.

Confeccionamos una base de datos climáticos trihoraria de 5 años (1994-1998), compuesta por 14 608 observaciones de la fuerza del viento referidas a la Estación Meteorológica de Cabo Lucrecia, codificada y validada por la

Organización Meteorológica Mundial (OMM) como la número 78365, que nos indica que pertenece al bloque 78 de la Asociación Regional IV y que está identificada en el área de El Caribe con el número 365.

Debido a que la potencia eólica es directamente proporcional al cubo de la velocidad media del viento, partimos del cálculo del comportamiento medio de esta variable por horas de observación (1.00 a.m., 4.00 a.m., 7.00 a.m., 10 a.m. 1.00 p.m., 4.00 p.m., 7.00 p.m. y 10.00 p.m.) y se obtuvieron además, los promedios mensuales y anuales de la fuerza del viento en Cabo Lucrecia con altura del anemómetro a 10 m.

Aplicamos el análisis de frecuencia seleccionando 6 rangos para facilitar la interpretación del fenómeno, el primer rango de valor [0-1[nos ofrecería la cantidad de días con calma donde es imposible el uso del viento, los rangos [1-6[km/h y [6-12[km/h arrojarían los vientos flojos o de poca fuerza, mientras que los rangos siguientes: [12-22[, [22-32[y =32 nos ofrecieron conocer realmente la distribución de frecuencias óptimas para aprovechar el recurso eólico. Los valores extremos de la muestra son $x_{MIN} = 0$ y $x_{MAX} = 44$.

Para caracterizar el viento en la zona objeto de estudio utilizamos estadígrafos descriptivos, específicamente: el cálculo de la media aritmética y la distribución de frecuencias para variables continuas.

La media aritmética o simplemente la media se define como:

$$\bar{M}(x) = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Donde n es el número de casos y x_i son los valores de la muestra.

Para la distribución de frecuencias utilizamos la ecuación de las frecuencias relativas que se define como

donde n_i es el número de veces que se repite un valor (frecuencia). El valor de f_i multiplicado por 100 nos conduce a la distribución de frecuencias relativas porcentuales.

RESULTADOS DEL TRABAJO:

La estación meteorológica de Cabo Lucrecia, representativa del litoral holguinero posee vientos sostenidos durante todo el día, condición que diferencia a este territorio del litoral Sur, por cuanto, la llegada de los vientos Alisios no se ve afectada por las montañas y además, durante el periodo diurno coincide la dirección del viento con la brisa marina, lo que contribuye a que se incremente la velocidad del viento.

Según los resultados obtenidos a partir de la base de datos estudiada, los vientos medios en Cabo Lucrecia son de 17 km/h (4.7 m/s), condición favorable para obtener energía eléctrica a partir del viento utilizando máquinas de baja (inferiores a 100 Kw) y moderada potencia (100-500 Kw). El comportamiento de esta variable meteorológica en el área objeto de estudio no se mantiene

constante durante todos los meses pues responde a la situación sinóptica que esté incidiendo sobre la región (fig.18).

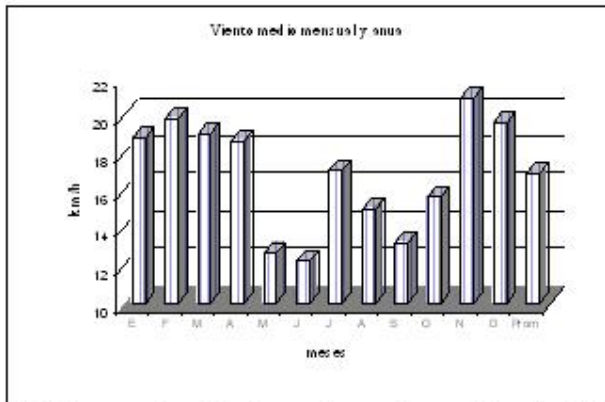


Fig.18 Comportamiento del viento medio mensual y anual. Estación "Cabo"

Si apreciamos la información como todo un ciclo promedio no interrumpido podemos percatarnos que los valores más altos del viento se reportan en los meses meteorológicamente conocidos como de la temporada invernal, coincidiendo con el periodo característico del paso de sistemas frontales sobre o cerca de nuestra región (fig.18).

Desde octubre y hasta abril los vientos medios superan los 15 km/h, destacándose noviembre con velocidad de 21 km/h (fig.18).. Los frentes fríos que comienzan a llegar debilitados a la región oriental del país vienen acompañados con vientos sostenidos de hasta 35 km/h, siendo este un elemento de interés en el comportamiento del viento en esta época del año. El periodo al que hacemos referencia (noviembre-abril) acumula una velocidad promedio de 19 km/h (5.3 m/s), valor por encima de la norma mínima necesaria para aprovechar el recurso eólico en máquinas de baja y mediana potencia.

El segundo periodo (apreciable en la figura 18) está conformado por los meses de mayo a septiembre y posee una velocidad media del viento de 14.1 km/h (3.9 m/s). Por el bajo valor se destacan mayo y junio (12.7 km/h y 12.3 km/h respectivamente), desde el punto de vista sinóptico es explicable debido a que en este periodo prevalecen los débiles gradientes de presión causados por la ya pobre influencia de los anticiclones migratorios y la lejanía aún del centro de altas presiones Azores-Bermudas de la región antillana del Caribe.

En los meses de julio y agosto, motivado por el reforzamiento del anticiclón oceánico y consecuentemente su influencia sobre nuestro país con una extensa cuña que impone corrientes de región Nordeste al Este, la velocidad del viento se incrementa y alcanza valores de interés, llegando a reportarse 17.0 km/h (4.7 m/s) en el primero y 15.0 km/h (4.2 m/s) en el segundo (fig.18).

Nuevamente en septiembre la velocidad del viento decrece, esta vez a 13 km/h (3.6 m/s), véase que pese a la disminución de la fuerza del viento en mayo, junio y septiembre, sus valores medios no son inferiores a 12 km/h (3.3 m/s), por lo que, el recurso eólico es aprovechable para la generación eléctrica.

Un sector económico de esta zona gran consumidor de electricidad es el Turismo, partiendo del análisis anterior puede observarse que coincide el periodo de máximo aprovechamiento con el periodo de máxima demanda por encontrarse el Turismo enfrascado en su temporada alta, elemento de singular importancia como solución estratégica para reducir la carga de “los picos eléctricos” y además, como el turismo que nos visita posee frecuentemente mucho interés por el Medio Ambiente y su protección, pues constituye un atractivo saber que su consumo eléctrico está generado por una fuente renovable de energía.

Utilizando el cálculo de frecuencia mensual del viento nos detuvimos en los resultados que ofrece el análisis partiendo de los días promedio con el establecimiento de calmas o lo que es lo mismo, con velocidad del viento igual a cero. Como la energía eólica depende en primera instancia de la fuerza del viento, entonces, el conocimiento promedio de los días con calma se hace necesario para tener una herramienta sólida acerca de la explotación de este recurso y su posible utilización en sistemas híbridos si se hace necesario.

El promedio mensual de días con calma es de 5. Precisamente febrero y marzo son los meses que poseen históricamente menor cantidad de periodos con calmas (3 días), mientras que los meses de menor promedio de velocidad del viento (mayo, junio y septiembre) reportan 7 días con viento en calma.

Solo conociendo los días con calmas y los valores medios (obviamente alterado por los días en que no se reporta viento) no basta para llegar a la conclusión de las verdaderas posibilidades existentes en el territorio en función del uso de la energía eólica, se necesita además, conocer hasta qué punto los vientos cumplen con la condición de encontrarse gran parte del tiempo con velocidades iguales o superiores a 3.5 m/s (12.6 km/h) para alcanzar una generación de energía lo más óptima posible, teniendo en cuenta que la mayoría de los WECSs de baja y mediana potencia hoy día arrancan en ese orden de velocidad.

Al procesar los datos obtuvimos que el 65.2% del año (incluyendo las madrugadas) el viento puede ser aprovechado óptimamente; representando 5712 horas anuales.

Como era de esperar, el periodo octubre-abril se comportó con valores significativos, en dicho periodo el 71.4% de los días se mantiene bajo los parámetros anteriormente establecidos. Los meses de noviembre y febrero manifiestan un 76.0% de los días con velocidades superiores a 12.6 km/h. (fig.19).



Fig.19 Por ciento de vientos medios mensuales superiores a 12.6 km/h Estación "Cabo Lucrecia".

Los cinco meses restantes (mayo-septiembre) como promedio poseen el 56.9% de los días aprovechables. Al observar y analizar con detenimiento el gráfico nos percatamos que los meses de julio y agosto poseen ambos el 66.7% de los días anuales aprovechables (fig.19).

Como la demanda energética ni el viento se mantienen estables durante todo el día, y a su vez, ambos parámetros coinciden en alcanzar sus máximos valores en las tardes y noches realizamos el análisis también dividiendo los días en dos períodos: madrugada- mañana y tarde-noche.

En el año el 60.5% de las madrugadas-mañanas son aprovechable para la generación de electricidad con turbinas eólicas (fig.20), mientras que las tardes-noches útiles ocupan el 70.9% (fig.21). Esto nos dice que como promedio alrededor de 221 madrugadas-mañanas y 259 tardes-noches son factibles para la generación de electricidad utilizando la energía eólica mediante aerogeneradores de baja y mediana potencia.

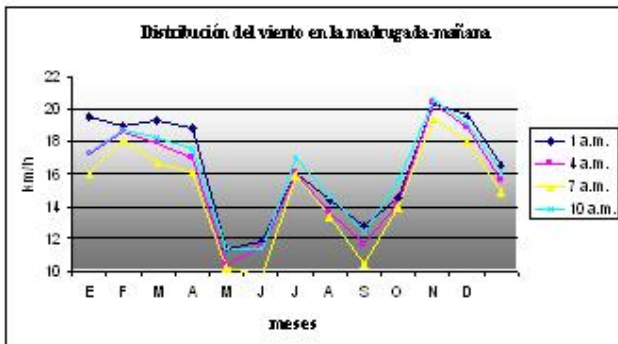


Fig.20 Distribución del viento en la madrugada-mañana. Estación "Cabo Lucrecia".

La diferencia del comportamiento del viento en los dos periodos está condicionada por el comportamiento térmico entre el océano y la tierra firme hacia donde se mueve la brisa marina. Si bien durante el día la brisa marina y los Alisios se desplazan en un mismo sentido y con ello se refuerzan, mientras que durante el periodo nocturno producto del rápido enfriamiento de la tierra, el terral toma dirección contraria al Alisio y avanza debilitado, claro está, cuando existe un flujo sinóptico con gradiente moderado o fuerte, el terral se ve imposibilitado ante el avance del viento predominante.

Durante las madrugadas-mañanas de noviembre el 71.3% de los días se manifiestan favorable, mientras que en septiembre solo llega al 43.3% (fig.20). En el otro periodo, los meses de noviembre a abril se manifiestan con óptimas condiciones reportando valioso el 75.0% de los días, lo que se traduce en un mayor aporte de energía durante el momento que la demanda es mayor en el país. En febrero el 82.7% de los días son aprovechable en tal sentido (fig.20).

En la figura 21 se presentan los resultados del comportamiento del viento medio mensual en la tarde-noche. Al analizar este gráfico es fácil comprender como los meses que marcan el periodo noviembre-abril tienen el mayor contenido energético porque los vientos promedios están en el rango de 19-22 km/h, siendo noviembre el de mayor potencial eólico con un valor medio de 21 km/h.

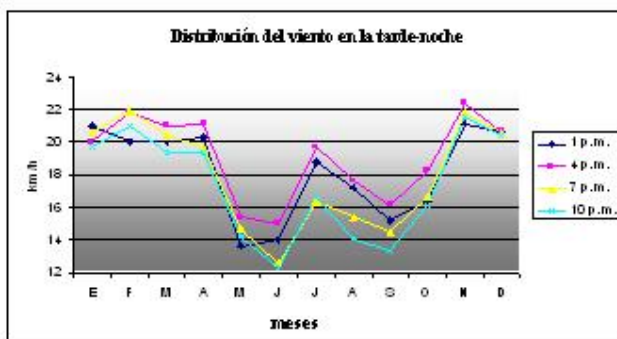


Fig.21 Distribución del viento en la tarde-noche. Estación "Cabo Lucrecia".

Es importante reiterar como a pesar de que los vientos disminuyen en los meses de mayo y junio, sus valores medios en los periodos de las tardes-noches oscilan en el rango de 12-15 km/h. En julio y agosto como se ha explicado anteriormente, la cuña anticiclónica oceánica se expande sobre Cuba e incrementa la fuerza de los vientos sobre la región, y las brisas marinas refuerzan los vientos dominantes durante las tardes principalmente. Por último, señalar que en septiembre y octubre el rango está entre 13-18 km/h. Estos resultados permiten diagnosticar el aprovechamiento del recurso eólico en la zona objeto de estudio de manera óptima utilizando turbinas eólicas.

Con el objetivo específico de conocer los detalles acerca del comportamiento del viento, procesamos los datos de velocidades medias del viento utilizando los ocho horarios de información meteorológica disponible en la base de datos.

En el horario de observación de la 1.00 a.m. el valor promedio del viento es de 16.5 km/h (fig.22) durante todo el año, solo se comporta ligeramente inferior a 12.6 km/h en mayo (11.4 km/h) y junio (11.9 km/h), meses en los cuales la producción de energía eléctrica decrecería, haciéndose necesario entonces, la utilización de otra fuente de energía renovable (fotovoltaica, solar térmica u otra), incluso un sistema híbrido pudiera solucionar el problema.

En la medida que avanza la madrugada el viento se debilita aún más pero solo se mantienen con valores inferiores a 12 km/h los meses antes mencionados.

Desde la 1.00 p.m. la velocidad del viento aumenta considerablemente, en este horario el promedio es de 18.2 km/h, mientras que a las 4:00 p.m. llega a ser de 19.1 km/h, durante este horario en el mes de noviembre el viento medio alcanza 22.4 km/h (fig.22).

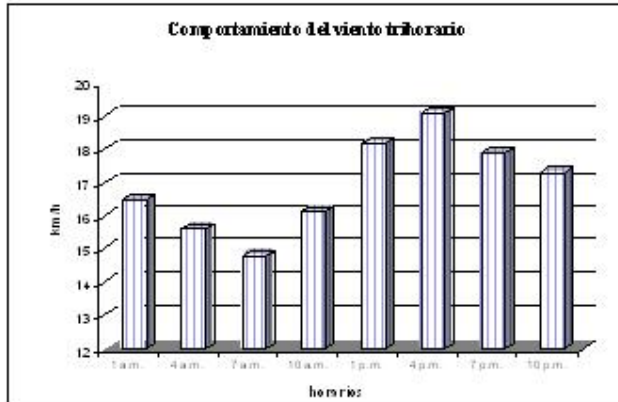


Fig.22 Comportamiento del viento trihorario. Estación "Cabo Lucrecia".

También es importante destacar que aunque los horarios nocturnos de las 7 p.m. y 10 p.m. la velocidad del viento decrece, se mantiene con promedios de 17.6 km/h y 17.1 km/h respectivamente. Estas conclusiones son importantes porque nos reafirman el criterio de que en la tarde el viento predominante se refuerza a causa de la suma vectorial de las brisas marinas y en la noche la presencia del flujo sinóptico dominante permite mantener los vientos con velocidades superiores a los 17 km/h.

El análisis de frecuencia nos permitió apreciar la dimensión de la dificultad que puede crear el viento en calma en los periodos madrugada-mañana y tarde-noche durante todo el año.

La mayor cantidad de calmas se produce en el horario de la madrugada, lo que hace que el 24.4% de este periodo no pueda aprovecharse, pese a ello, el viento se mantiene en el 75.6% de los casos durante el año. El horario de mayor potencial eólico se manifiesta en las tardes cuando solo en un 3.4% de las ocasiones no hay presencia del viento. Por su parte, en la mañana el aire se detiene en el 22.6% de las ocasiones y esto también ocurre en un 12.9% de las veces en el periodo nocturno.

Esta apreciación nos permite concluir que el viento, aunque tenga un debilitamiento en la madrugada, es bastante estable durante el ciclo diurno, algo favorable para valorar sus bondades, pues brinda la posibilidad de obtener energía en la mayor parte de las ocasiones durante el día completo, se destaca a su vez, que la mayor cantidad de calmas ocurre en el horario de menor demanda energética, o sea, en la madrugada.

CONCLUSIONES:

1. Los cálculos realizados del recurso eólico en la zona costera de la provincia Holguín, mostraron un valor medio de viento anual igual a 4.7 m/s

- (17 km/h) a 10 metros de altura. Por lo que, este indicador puede ser tomado en cuenta para usar el viento en la generación eléctrica con turbinas eólicas de baja y mediana potencia.
2. Los resultados arrojaron que durante 5712 horas anuales se puede aprovechar el viento, significando el 65.2% del total anual.
 3. En los horarios desde la 1:00 p.m. hasta las 10:00 p.m. se presentan las mejores bondades del recurso eólico, con 259 tardes-noches del año factibles para utilizar este recurso.
 4. Los meses de la temporada invernal (noviembre-abril) presentan el mayor potencial eólico con un viento promedio de 5.3 m/s (19 km/h). El arribo de los frentes fríos sobre o cerca de la región y los anticiclones migratorios son la causa esencial de este comportamiento.
 5. Los meses de mayo y junio solo muestran vientos medios anuales de 12.7 km/h y 12.3 km/h respectivamente, meses de tránsito estacional entre el invierno y el verano.

BIBLIOGRAFÍA:

1. Avia, F. Curva de Potencia del Aerogenerador AWEC-60. Madrid: CIEMAT, 1992. 156 p.
2. Conceptos Básicos Relativos al Funcionamiento de los Aerogeneradores/ F. Avia...[et al]. Madrid: CIEMAT, 1998. 90 p.
3. Jornada Científica del CIES (2.: 1992: Santiago de Cuba). Diseño y construcción del aerogenerador Caribe-2/ R. Fiffe...[et al]. Santiago de Cuba; CIES, 1992. 47 h.
4. Final Report on Development and Building of DANmark 36-525 kW Wind Turbine Situated in Hanstholm. [S.l.: S.N., 1993]. 19 h.
5. García Galludo, Mario. Energía Eólica. España: Sevilla: Promotora General de Estudios, 1987. 130 p.
6. Hernández, G. Estudio del potencial eólico en tres sitios de la región oriental/ G. Hernández, A. Hurtado, G. Puente. Santiago de Cuba; CIES, 1996. 141 p.
7. Caracterización y evaluación preliminar del potencial eólico en cinco sitios de Cuba/ Moreno, C...[et al.]. Santiago de Cuba; CIES, 1993. 69 h.
8. The Use of Wind Energy in Cuba. European Unión Wind Energy Conference. [S.l.: S.N., 1996]. 39 h.
9. Actualización de los Modelos Físicos y Estadísticos del Atlas Eólico de Cuba. Rev. Cub. de Meteorología (La Habana)8(1): 19-25, 2001.

10. Resumen Climático de Cuba. La Habana: Editorial Academia, 1991. 105 p.
11. Tablas de asentamiento de las observaciones meteorológicas. Holguín; CMP, 1999. 12 h.
12. Organización Meteorológica Mundial. Aspectos Meteorológicos de la utilización del viento como fuente de energía. Ginebra: Suiza: OMM, 1994. 62 p. (Nota Técnica No.175, OMM-No.575).

DATOS DE LOS AUTORES:

Nombre:

M.Sc. Lic. Jorge Proenza Velázquez. Profesor Auxiliar Adjunto.

Ing. José Emilio Piña Silva. Profesor Auxiliar Adjunto.

Lic. René Quevedo Paneque.

Téc. Miladis Rojas Díaz

Correo:

jorge@metholg.holguin.inf.cu

Centro de trabajo:

Centro Meteorológico Provincial. Calle 18 s/n entre Maceo y 1ra. "El Llano", Holguín. CP- 80100.