



AL SERVICIO DE LA REVOLUCIÓN

Universidad
de **Pinar del Río**

"HERMANOS SAIZ
MONTES DE OCA"

25 ANIVERSARIO
de su Fundación

CARACTERIZACIÓN DEL PERFIL EÓLICO PARA FINES INDUSTRIALES EN LA PARTE NORTE ORIENTAL DE CUBA

Dr. Raúl Izquierdo Pupo

Ing. Eduardo Terrero Matos

Ing. María del C. Fuentes

Departamento de Mecánica. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa

RESUMEN:

La evaluación energética preliminar del recurso eólico permite la selección de puntos promisorios en zonas donde la topografía contribuya a su aprovechamiento industrial, teniendo en cuenta las ventajas de esta fuente de energía no convencional.

En este trabajo se caracterizan los vientos en la parte norte oriental de Cuba y se llega a establecer la velocidad y el rumbo en la zona de Sagua-Moa-Baracoa con el fin de instalar molinos de viento.

ABSTRACT:

The evaluation of energetic resources as wind permits the selection of some points in those areas where the topography facilitates its industrial utilization, taking into account the advantages of this source of not conventional energy.

In this work the characterization of wind in the northern part of Cuba is done establishing the velocity and course of predominant wind in Sagua-Moa-Baracoa region with the aim of installing windmills.

El estudio del viento es de notable importancia no sólo por su gran movilidad, sino por las consecuencias, favorables o desfavorables, que ejerce al actuar sobre el medio ambiente.

Actualmente, el viento es utilizado como recurso energético en muchos países, de ellos el mayor potencial en el continente europeo lo tienen Alemania y Gran Bretaña. El Tercer Mundo tiene en la India el país más adelantado en ese terreno. En Argentina, Brasil, Chile, México, Bolivia, Indonesia, Egipto y Marruecos se dan pasos en esta dirección. No obstante, en más de un centenar de naciones del sur, sobre todo de África y Asia, difícilmente habrá posibilidades de adentrarse en esta modalidad, pues no disponen del financiamiento necesario para hacer tales inversiones.

En Cuba existen datos dispersos sobre las primeras formas de utilización del viento, aunque ya desde muy temprano Colón en su diario del segundo viaje relata las turbonadas del Guacanayabo. Durante el primer decenio del presente siglo se instalaron algunos molinos para el bombeo de agua, y se realizaron mediciones de velocidad y rumbo, para tener información sobre el comportamiento del viento en diferentes zonas.

En los años posteriores ha crecido el interés de especialistas y ecologistas por utilizar de forma más racional y eficiente las diversas fuentes energéticas e impulsar el desarrollo de tecnologías para el aprovechamiento de fuentes no contaminantes, las denominadas tecnologías «limpias».

En la parte oriental de la provincia de Holguín se han obtenido resultados preliminares que han permitido la instalación experimental de algunos molinos de viento.

Características generales del viento

El viento es el aire en movimiento como consecuencia de una diferencia de presión entre dos puntos. Diversas causas pueden provocarlo, pero fundamentalmente su origen es una ganancia o pérdida de calor. Los vientos son portadores de agua en mayor o menor cantidad, como los monzones, los frentes de turbonadas, etcétera; o por el contrario, pueden desecar por su humedad relativa muy baja. Arrastran mecánicamente gases de origen natural o industrial, polvo y corpúsculos diversos, semillas, polen, bandadas de pájaros, emjambres de insectos, a distancias a veces insospechadas.

Los vientos se caracterizan fundamentalmente por su velocidad y por su dirección. Para determinar la velocidad se utilizan instrumentos especiales: anemómetros, rumbómetros, anemorumbómetros, etcétera. En su valoración aproximada se utiliza la escala de Beaufort. La velocidad determina la energía del flujo.

La rotación de la tierra determina cambios térmicos en la atmósfera que se traducen en oscilaciones periódicas diarias, produciéndose vientos como la brisa marina, los terrales, los gravitacionales, entre otros. Como la distribución de los días y las noches no es igual durante todo el año, se llega a establecer un ciclo anual de acuerdo con las estaciones y sus cambios, manifestándose vientos de períodos más largos.

La combinación de diversas causas determina el origen de vientos irregulares, algunos de un poder destructivo espectacular como son los que acompañan a las turbonadas, remolinos, tornados, ciclones y huracanes.

En muchas ramas de la ciencia es importante conocer su comportamiento para poder aprovecharlo y prever los daños que este pueda causar.

Para poder aprovechar la energía eólica es necesario determinar la velocidad y cambio de rumbo del viento reinante, o sea, del que predomina sobre otros vientos en un área determinada. El viento tiene, como agente energético, la gran ventaja de su amplia dispersión en el globo terráqueo, además de que no cuesta nada.

Características eólicas de la región

De los vientos que soplan en la región más oriental de Cuba los de mayor importancia, sin duda, son los alisios. De origen remoto en el Atlántico Norte, soplan procedentes del noreste durante los meses de octubre, noviembre, diciembre y enero; del este-noreste durante los meses de febrero a mayo y del este durante junio, julio, agosto y septiembre (Figuras 1 y 2).

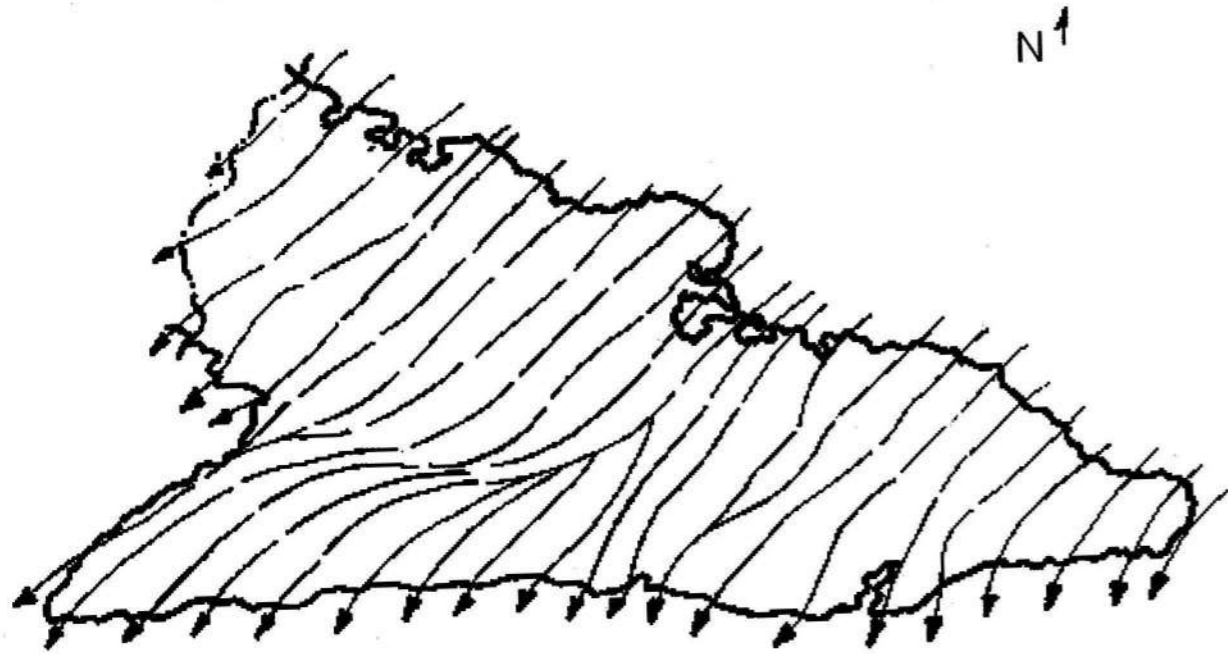


FIGURA 1. Curso aproximado que siguen las líneas de flujo de los vientos alisios del NE, rasantes al suelo, al cruzar sobre Oriente. Nótese las perturbaciones que provocan las Sierras (1).

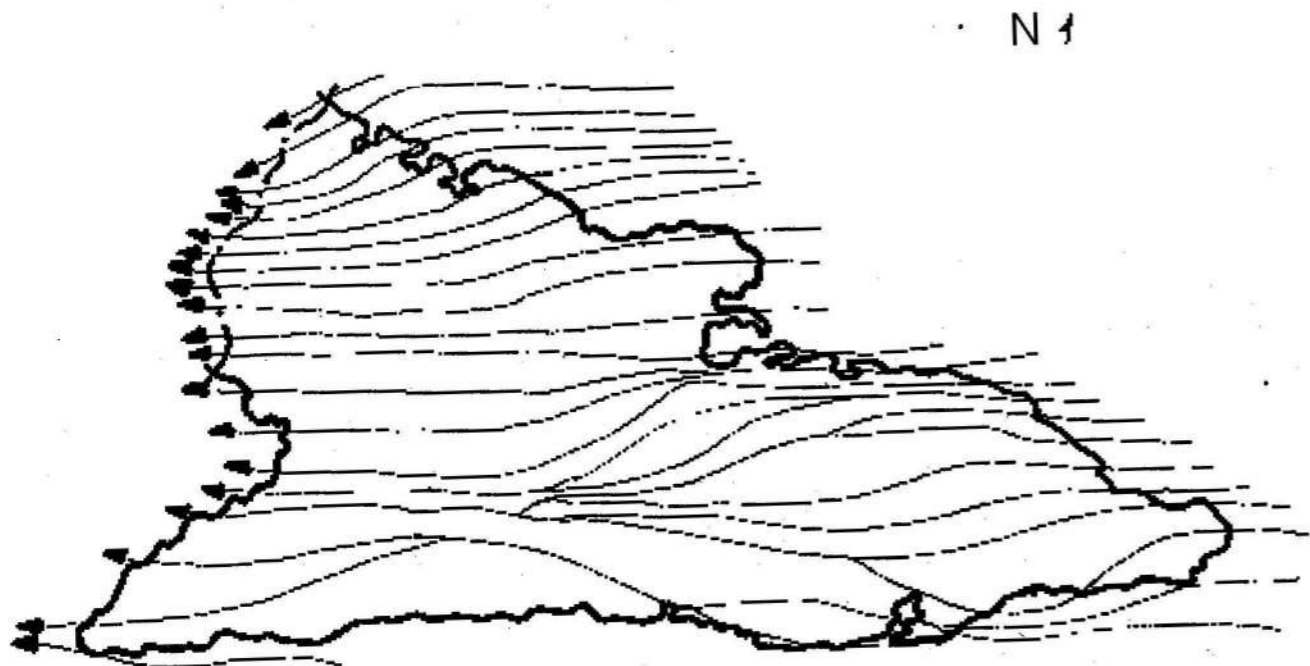


FIGURA 2. Curso aproximado que siguen las líneas de flujo de los vientos alisios del E, rasantes al suelo, al cruzar sobre Oriente. Nótese las perturbaciones que provocan las Sierras (1).

En la tierra son perturbados frecuentemente por la brisa marina que refuerza sus velocidades y modifica sus rumbos en la porción norte (Maisí-Puerto Padre), los anula y modifica su rumbo del sudeste al este-sudeste en la costa sur de Cajobabo-Cabo Cruz, o se opone a ellos contrarrestándolos o anulándolos en el Golfo de Guacanayabo.

Los alisios varían poco su rumbo durante el año, lo que asegura la ubicación de aparatos de ventilación para una mejor captación del aire y, por lo tanto, ayudan a la dispersión de los contaminantes de este. Los vientos suelen provocar también deformación eólica en la vegetación (Figura 3).



FIGURA 3. Rumbos y velocidades medias mensuales de los vientos alisios.

En cuanto a la brisa marina, esta se inicia en el mar a pocos kilómetros de la costa y penetra en tierra hasta unos 30-40 km durante las horas del día (Figura 4).

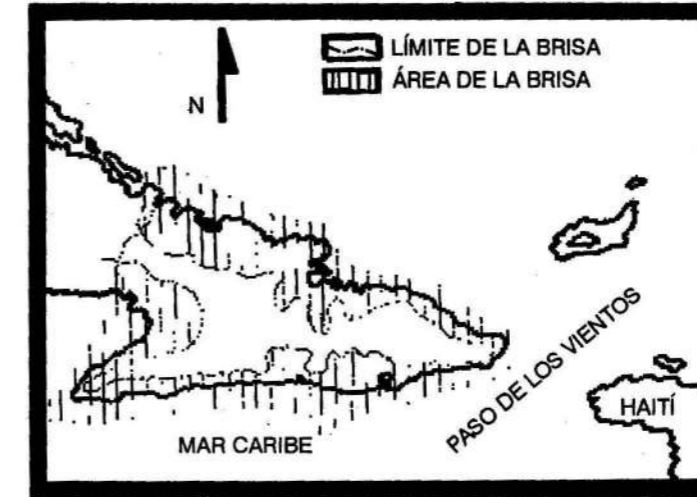


FIGURA 4. Zona de acción de la brisa marina en Oriente.

Las brisas marinas son más frecuentes (85 %) durante los meses de verano. A veces, durante las sequías prolongadas y calientes (mayo y junio) la brisa va cesando cada día una hora más tarde, hasta bien entrada la noche, y una noche «vela», es decir sopla hasta el amanecer, reforzándose con el avance de la mañana siguiente y se mantiene así durante varios días sucesivos. Esta brisa toma carácter monzónico, además, acumula gran cantidad de humedad en el interior de la provincia, formando bancos de nubes que producen abundantes precipitaciones.

La topografía provoca cambios en el rumbo del viento dados por la estrangulación de las líneas de flujo que imprimen a estas una divergencia en «abanico» (Figura 5).

El terral sopla, en la costa norte, de sur a suroeste, a norte o noreste, contrario al rumbo de los alisios a los que no siempre logra vencer, lo que trae una disminución aparente de su frecuencia, sobre todo lejos de la línea de costa. Esto se observa en Punta Lucrecia, Nicaro y Maisí. En la costa sur el rumbo del terral está bien definido, es opuesto al de la brisa y es apenas perturbado por los alisios.

Los vientos gravitacionales se encuentran alrededor de los diferentes ríos, siendo más intensos en los ríos Toa, Yara, Guantánamo, Río Frío, Mata Abajo y Caimanera, y más lentos en los ríos de Sagua de Tánamo, Baracoa y Gibara (Figuras 6 y 7).

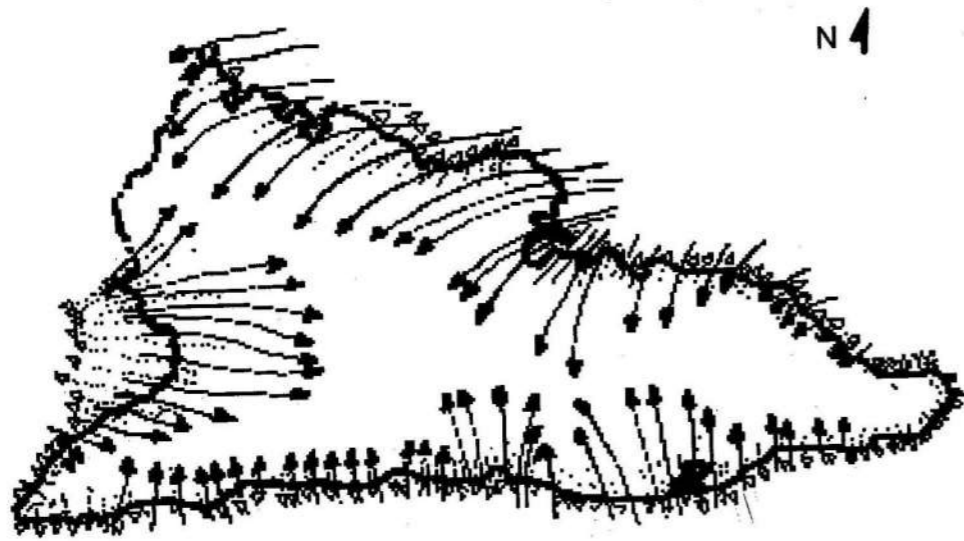


FIGURA 5. Curso medio, aproximado, de las líneas de flujo que siguen la brisa marina (línea llena) y el ternal (línea punteada).

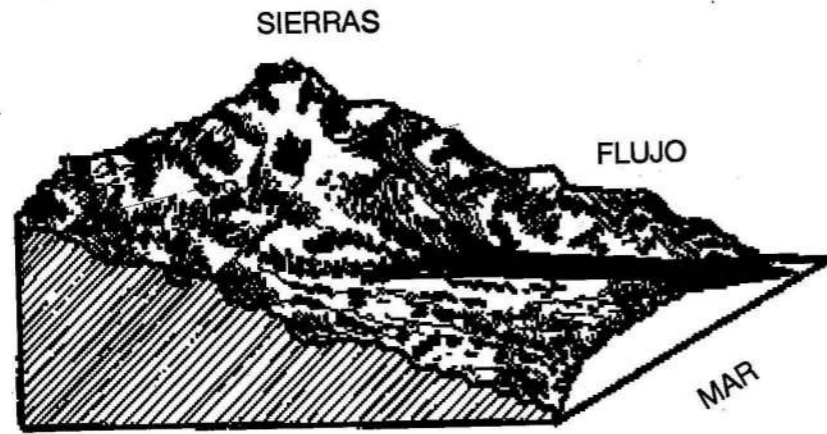


FIGURA 6. Esquema del flujo de un viento gravitacional.



FIGURA 7. Principales vientos gravitacionales en Oriente, sus recorridos promedio y los lugares principales que afectan.

Durante el invierno se observa, en las laderas de las montañas, la modalidad de brisa de valle (Figuras 8 y 9). Después de las fuertes lluvias del mediodía, estos vientos se presentan muy suaves y al mejorar el tiempo arras-

tran vapor que, al condensarse, origina nubes lenticulares y onduladas junto a las montañas. Durante la noche el régimen de vientos se invierte y es remplazado por otros vientos (Figura 10).

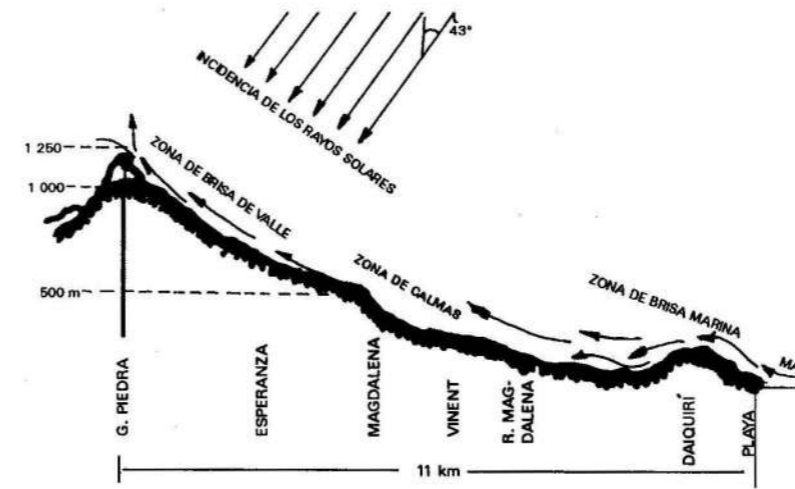


FIGURA 8. Corte esquemático ilustrativo de como se inician las brisas Marina y de Valle según el ángulo de incidencia de los rayos solares a lo largo de un perfil, La Gran Piedra-Daiquirí, en pleno diciembre (1).

Esc: 1:1 000 000

FIGURA 9. Esquema de la conducta de la acción de la brisa Marina, brisa de Valle y el alisio en la sección Daiquirí-Gran Piedra, Sierra Maestra (1).

Esc: 1:1 000 000

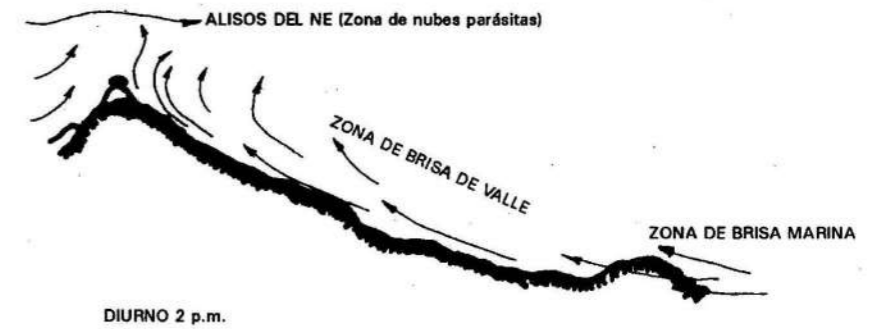


FIGURA 10. Esquema de la conducta de los terrales, gravitacionales, y alisios. En este caso no parece formarse foehn (1).

Esc: 1:1 000 000

En general, en la mitad norte oriental de Cuba reinan los vientos alisios reforzados con los demás vientos que soplan en la región. En la mitad sur se dividen, mutilándose los alisios del este por la acción perturbadora de la meseta de la Gran Piedra y de las sierras que corren de este a oeste. Aparecen de esta forma dos vientos reinantes: el noreste, acompañado de alisios y terrales que predomina en el invierno, y el sudeste de brisas marinas y alisios del este-sudeste que predomina en el verano.

Desde el punto de vista de su aprovechamiento son las combinaciones alisio-brisa marina de la zona norte Baracoa-Cueto-Las Tunas las más importantes.

La Sierra Maestra, Sierra de Nipe y Sierra de Imías son consideradas grandes pantallas eólicas.

Los planos de estímulo fluvial más destacados se ubican en los macizos de Baracoa, Maisí y en las alturas de Banes-Holguín.

El aprovechamiento energético del viento tiene como base la presión que ejerce el mismo sobre un cuerpo interpuesto en su curso. Este aprovechamiento es proporcional a la velocidad del viento, al área de la superficie expuesta y a la presión atmosférica; así se puede determinar la potencia y el trabajo que es capaz de desarrollar una máquina para convertir la energía eólica en trabajo mecánico.

Es importante considerar cuando se realiza un estudio de factibilidad para la utilización del viento como fuente de energía, los niveles posibles de alcanzar en una zona o región dada, así como las características topográficas.

En la zona norte oriental (Nicaro-Cueto-Las Tunas) existen condiciones favorables para el aprovechamiento de la energía eólica porque la brisa marina y los alisios se suman durante el día reforzando su velocidad. La topografía poco accidentada en la zona costera es otro factor favorable.

Metodología de las mediciones eólicas

La energía eólica puede ser evaluada de diferentes formas, ya sea a través de estaciones permanentes que registran durante intervalos fijos, por rastreo eólico, entre otros.

En la región se han realizado estudios experimentales del potencial eólico para su aprovechamiento mediante la instalación de molinos de viento. Se seleccionaron cuatro puntos en los que se realizaron mediciones con un anemómetro Pristoje, del tipo de cazoletas de Robinson, de fabricación checa. La evaluación se efectuó desde septiembre de 1994 hasta marzo de 1996.

El procesamiento de los datos permitió establecer los parámetros energéticos del viento en los puntos investigados, los cuales se correlacionaron con resultados de estudios anteriores, observándose poca diferencia entre ellos.

Los valores de velocidad y rumbo registrados en intervalos de tiempo de 10 a 20 minutos se graficaron luego de calcular los valores promedios, y de esta forma se

obtuvo una valoración mensual del rango de oscilación de la velocidad del viento en los puntos estudiados.

Se recomienda realizar dos o tres mediciones en cada punto. El control de las mediciones garantiza un porcentaje bajo de error, aportando confiabilidad a los resultados.

La representación gráfica puede realizarse en forma lineal para la velocidad y en forma de diagramas de roseta para el rumbo.

Una vez obtenidos estos parámetros fundamentales se procede a la ubicación de los molinos de viento. El elemento fundamental de estas máquinas es el rotor que gira por la acción del viento. Pueden ser horizontales o verticales, según la disposición del eje de giro del rotor. Por el tipo de motor pueden ser de álabes, de válvulas abatibles, de pantalla, etcétera.

RESULTADOS

En la zona de Moa-Baracoa-Sagua de Tánamo se obtuvieron puntos perspectivas para la instalación de molinos de viento. De forma cuantitativa se evaluó el comportamiento de la velocidad y del rumbo del viento en diferentes meses del año.

Se pudo valorar el rango de oscilación y llegar a establecer puntos perspectivas.

La instalación de molinos de viento con fines industriales en el territorio minero-metalúrgico es totalmente factible. Desde el punto de vista industrial, las velocidades obtenidas cumplen con los requisitos necesarios para la instalación de los molinos, teniendo en cuenta que en la literatura especializada se consideran aprovechables los valores de velocidad del viento por encima de 15-20 km/h y los valores obtenidos en el área estudiada sobrepasan los 20 km/h e incluso llegan a superar dos o tres veces este valor en algunas épocas del año.

Al analizar los posibles inconvenientes se encontró que estos estaban en las variaciones que se producen con relación a la velocidad y rumbo del viento por la ocurrencia de fuertes lluvias y turbonadas que son frecuentes en ciertas épocas en la región. La solución a este problema sería la utilización de molinos con mecanismos de detención automática del rotor durante las tempestades.

Con relación al rumbo podemos decir que el mismo no difiere respecto al obtenido en observaciones anteriores (ver Figura 3).

CONCLUSIONES

La evaluación de la velocidad promedio del viento permite el cálculo cinemático del molino, y la determinación del rumbo, la orientación adecuada de este, lo que garantiza la obtención de la energía suficiente para ser utilizada industrialmente. La utilización de esta fuente de energía no convencional es una necesidad imperiosa en el mundo actual para preservar nuestro planeta del alarmante peligro que entraña para la humanidad el consu-

mo irracional de los recursos, especialmente en materia energética, como está ocurriendo actualmente.

Este trabajo refiere los resultados preliminares obtenidos por investigadores del ISMM, los cuales continúan trabajando en este campo, por lo que pretenden exponer nuevos resultados en próximas publicaciones.

BIBLIOGRAFÍA

- BOYTELL, F.: *Geografía eólica de Oriente*, C. de La Habana, 1972.
 CERVANTES, S.: «Sistemas conversores de energía eólica», *Tecnología*, 12(4):45-49, 1987.
 CLOSA, C.: «Fuentes de energía no convencionales», *Metalurgia y Electricidad* (503):94-96, julio, 1980.

FERNÁNDEZ DIEZ, P.: «Energía eólica», *Metalurgia y Electricidad* (509):63-68, febrero, 1980.

FIFFE VERDECIA, R.: *Manual de instalación y explotación de los molinos de viento*, CIES, 1993.

GARCÍA OLIVE, J.M.: «Sistema electrónico para el aprovechamiento de la energía no convencional», *Ingeniería Eléctrica*, 12(2), 1988.

GONZÁLEZ FEMENIA, J.L. y A. RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ: «Nuevas energías y entornos. Previsión de implicaciones», *Ingeniería Eléctrica* (602):85-89, julio y agosto, 1988.

MORENO, CONRADO: «El viento como fuente de energía», *Ciencia y Técnica*, Manual de la Facultad de Ingeniería Energética, pp. 106-108, 1987.

