

Caracterización de la brisa de mar. Sus efectos en el aprovechamiento de la energía eólica. Estudio de dos casos

Magdiel Carrasco Díaz [magdiel.carrasco@insmet.cu]

Alfredo Roque Rodríguez

Mario Carnesolta Calvo

Centro de Física de la Atmósfera, Instituto de Meteorología, Cuba

Resumen

Con el objetivo de determinar la influencia de la circulación de la brisa de mar en el aprovechamiento energético del viento, se analizó la información proveniente de las Torres Meteorológicas de Referencias, ubicadas en Caibarién y El Brinco, en el período lluvioso 2007. Teniendo en cuenta la situación sinóptica imperante cada día, se dividió la muestra en tres grupos: con flujo sinóptico entrando a la costa, paralelo y saliendo de la costa. Se construyeron los perfiles verticales del viento para cada muestra y se obtuvieron los histogramas de frecuencia de la velocidad y la distribución de frecuencia por rumbos en el nivel de 100 m. Por último, para establecer una comparación entre las muestras, en el aprovechamiento energético, se calculó la densidad de potencia media del viento diaria en cada zona.

Entre los principales resultados está: la brisa de mar favorece al flujo sinóptico que entra a la costa, sobre todo cuando la influencia de la brisa de primera especie es fuerte, siendo el mejor escenario sinóptico para un buen aprovechamiento del recurso eólico. Con estas condiciones, las velocidades del viento permanecen por encima de 4 m/s más de 70 % del día en ambas zonas de estudio y contribuye a obtener valores de densidad de potencia superiores a 200 W/m².

Palabras clave: brisa de mar, recurso eólico.

Introducción

En Cuba, a partir de la crisis energética que vive hoy el mundo, en gran medida por el ascenso del precio de petróleo y el agotamiento de las reservas de combustibles convencionales, la dirección del país decidió dar un nuevo impulso a la explotación de las energías renovables, en particular la eólica. Se reanudaron los estudios de potencial eólico, con la culminación, recientemente, del mapa de potencial eólico de Cuba (Soltura y col., 2006), lo que permitió determinar que los principales lugares con características favorables para la obtención de energía eólica se ubican en las costas y zonas montañosas.

En cualquier zona costera, la circulación local de brisas puede cambiar el régimen del viento predominante. Los sistemas de brisas de mar y tierra en las costas

cubanas presentan peculiaridades bien diferenciadas. Mientras en la costa norte (N) la brisa de mar es reforzada casi siempre por los vientos de la componente general del flujo, en la costa sur (S) el avance del frente de la brisa de mar está limitado, al no coincidir las direcciones del flujo a escala sinóptica con el flujo de la circulación local. Pero en el caso de la brisa de tierra (Terral), ocurre un proceso inverso: en la costa N el Terral se manifiesta solo de forma leve, por una ligera inclinación de la resultante del viento hacia el segundo cuadrante (E – S), mientras que en la costa S, en horas de la noche el Nordeste (NE) sopla con apreciable intensidad y extensión (Lecha, 1994).

Dentro del sistema de la circulación de brisas en las costas, unos de los aspectos relevantes es la formación del frente de la brisa de mar, conocido en la li-

teratura internacional como “brisa de segunda especie” (Carnesoltas, 2002a). Esta condición se genera en una escala muy local y es parte importante dentro del grupo de componentes que conforman el viento resultante medido por las estaciones meteorológicas, principalmente las ubicadas en zonas costeras.

Cuando se presentan las condiciones de brisa de segunda especie, estas pueden ser un inconveniente para el aprovechamiento del recurso eólico en las costas. Por tal motivo, surge una incógnita por resolver: ¿cómo el régimen de la circulación local de brisas influye en la resultante del viento?

Las descripciones de la circulación de brisa aparecen en los relatos de los libros más antiguos, pero sus definiciones con carácter científico comenzaron a principios del siglo xx. La primera definición aceptada con este carácter fue presentada por Conrad (1928), quien la llamó “brisa menor de mar” y la definió como “la circulación en las inmediaciones de la costa, que precede a la brisa mayor que se desarrolla de forma gradual, tanto horizontal como verticalmente, a medida que continúa el calentamiento del aire sobre tierra, bajo las condiciones de viento en calma o muy débil”. Luego Koschmieder (1941), percatándose de que tal definición no siempre se cumplía, planteó una segunda definición para la brisa que se produce por la acumulación de aire frío sobre el mar, empujado por el aire caliente que sale desde tierra en días con un viento general de cierta intensidad. En la actualidad se reconocen ambas definiciones, puesto que ocurrirá una u otra en dependencia de la dirección del viento con respecto a la costa, y para diferenciarlas se les denomina “brisa de 1ra. especie”, a la que ocurre con viento débil y de “2da. especie” a la que forma frente. Por su parte la OMM (1992) define la brisa de mar, la brisa de lago y la virazón sin hacer ninguna distinción entre ellas, como “viento de las regiones costeras que sopla durante el día desde una extensión grande de agua (mar o lago) hacia tierra, debido al calentamiento diurno desde el suelo; y la brisa de tierra, el terral, el viento de la cos-

ta y el viento de tierra como “viento de las regiones costera que sopla durante la noche desde tierra hacia una extensión grande de agua, debido al enfriamiento nocturno del suelo”.

En Cuba, varios autores en sus trabajos han tratado la brisa, entre ellos se pueden mencionar a Rivero (1978), Lecha y colaboradores (1979), Osorio y colaboradores (1980), Hernández y Elizalde (1981), Saenz (1981), Rey (1982), Batista (1984), Fernández y Pazos (1998), Portela (2002) y Carnesoltas (1986, 2002a). Este último autor detalla, en sus trabajos, las características fundamentales de la circulación local de brisa de mar y tierra, el frente de la brisa de mar y su papel de mecanismo disparador de la convección profunda, y el frente de la brisa de tierra Carnesoltas (2002b), con la interacción con el proceso conocido en Cuba como “brisote sucio”.

Los autores anteriormente mencionados han descrito la circulación local de las brisas de forma conceptual, o a partir de perfiles verticales realizados por sondeos, los cuales muestran las condiciones atmosféricas en una columna vertical durante una hora determinada. Carrasco y colaboradores (2007), en un trabajo preliminar, mostró cómo se manifestaba este proceso, tanto en la costa N como en la costa S y la importancia de considerarlo en la estimación del recurso eólico, fundamentalmente en la elaboración de pronósticos energéticos para parques eólicos ubicados en zonas costeras. Hasta el momento no se ha podido encontrar otras referencias que profundicen en los efectos que provoca el régimen de brisas sobre la resultante de viento, en el aprovechamiento de la energía eólica.

El objetivo del presente trabajo es determinar la influencia de la circulación de la brisa de mar en el aprovechamiento energético. Además, evaluar de manera cuantitativa los efectos de la brisa de mar en el aprovechamiento del recurso eólico de las regiones de estudio e implementar una metodología de trabajo aplicable a todas las zonas costeras del país.

Materiales y métodos

En la investigación se tomaron los registros de las Torres Meteorológicas de Referencia, ubicadas en Caibarién (costa norte) y Playa Girón (costa sur), en la región central de Cuba. La primera torre, está ubicada en el municipio de Caibarién al N de la provincia de Villa Clara, aproximadamente a 2 500 m de la costa, con una línea costera orientada Noroeste – Sudeste (NW – SE), con el mar hacia el NE; la segunda torre, denominada “El Brinco”, está ubicada en Playa Girón, municipio Ciénaga de Zapata, al S de la provincia de Matanzas, aproximadamente a 200 m de la costa, con la línea de costa orientada W - E con el mar hacia el S (Fig. 1).

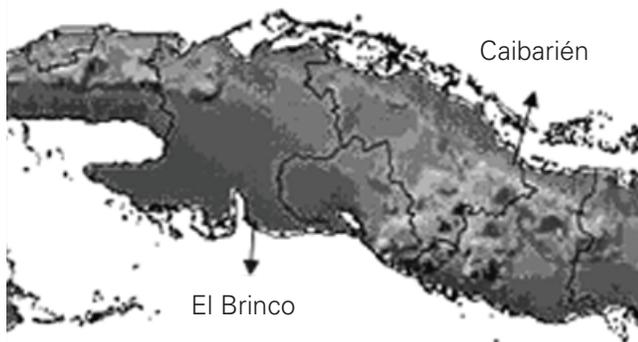


Fig. 1. Ubicación de torres Meteorológicas de Referencia.

De las dos torres antes descritas, se tomaron los datos registrados cada 10 min para el período lluvioso (mayo–octubre) de 2007. Las variables meteorológicas que se tuvieron en consideración fueron: la rapidez del viento en los niveles de 10, 30, 50 y 100 m de altura; la dirección del viento en los niveles de 10 y 100 m; así como la temperatura y la humedad relativa en el nivel de 10 m.

Se utilizaron, además, los mapas de reanálisis de las componentes zonal y meridional del viento (15 N con 30 N y 90 W con 70 W), así como el campo de presión en superficie (10 N con 50 N y 110 W con 50 W) a escala sinóptica (NOAA). Se trabajó solo con los mapas de las 1 800 UTC, por ser un horario representativo para analizar las condiciones sinópticas durante el día.

Se decidió analizar con mayor detalle la brisa de segunda especie durante el régimen diurno, por tener la característica de presentarse en días que el viento soplaban con cierta intensidad desde la tierra hacia el mar.

Utilizando los mapas de reanálisis de las componentes zonal y meridional del viento, se determinó la dirección del régimen de viento a escala sinóptica que predominaba en cada zona de estudio. A partir de la situación sinóptica imperante cada día, se dividió la muestra en tres grupos: con flujo sinóptico entrando a la costa, paralelo y saliendo de la costa. Esto permitió, posteriormente, poder determinar qué tipo de brisa influía en cada costa.

Los datos fueron reordenados de forma tal, que se pudo procesar para cada día individualmente. Para poder caracterizar el fenómeno en su conjunto, se elaboraron los gráficos del comportamiento de cada variable durante las 24 h. La oscilación de la velocidad resultante del viento se obtuvo para tres niveles de medición 10, 50 y 100 m; la oscilación de la temperatura y de la humedad relativa se construyó solo para el nivel de 10 m. Con la ayuda de estos gráficos se pudo distinguir sin lugar a duda los momentos de cambios de régimen del viento.

Como la hora de comienzo y final de la brisa de mar no se encuentra bien definida en la literatura consultada, se decidió analizar el horario comprendido entre las 06:00 y 21:00 horas del meridiano 75° W, para así tener en cuenta las primeras horas de la mañana, el transcurso del día y las primeras horas de la noche, tomando como referencia, de la llegada del frente de brisa de mar sobre el punto de medición, el giro en la dirección del viento. A partir de este criterio, para poder definir el nivel de influencia de la brisa de mar se elaboraron los gráficos de las componentes u y v (10 y 100 m) de la velocidad resultante del viento y se obtuvo de esta forma la dirección del vector resultante del viento, gráficamente, cada 10 min.

Con la ayuda de estos gráficos se determinó el nivel de influencia de la brisa de mar para cada caso (entrante, paralelo y saliente). Con el objetivo de poder evaluar

la afectación que este proceso provocó en la resultante del viento, se decidió dividir cada caso en tres subgrupos de acuerdo con el nivel de influencia de la brisa de mar sobre la resultante del viento. Para esto, en dependencia del efecto que provoca cada tipo de brisa, se tuvo en cuenta el tiempo en que la dirección del viento giró en sentido contrario al flujo general. Estos grupos, de forma general, son los siguientes:

- G1. Débil influencia de la brisa de mar (0 % del día con giro del viento). La circulación de brisas no afecta o tiene poca influencia en el flujo general del viento.
- G2. Moderada influencia de la brisa de mar (menos de 50 % del día con giro del viento). La circulación de brisas tiene un efecto moderado sobre el flujo general del viento.
- G3. Fuerte influencia de la brisa mar (más de 50 % del día con giro del viento). La circulación de brisas presenta una marcada influencia sobre el flujo general del viento.

Teniendo en cuenta estos criterios, se construyeron los perfiles verticales del viento con el promedio de la velocidad resultante en los cuatro niveles de medición para cada muestra (G1, G2 y G3). A su vez, con el fin de determinar la influencia de la brisa sobre el patrón de viento en la zona de estudio, se procesaron las muestras con el software Statisticay se obtuvo el histograma de frecuencia de la velocidad resultante y la distribución de frecuencia por rumbos en el nivel de 100 m. Por ultimo, para poder establecer una comparación entre las muestras en el aprovechamiento energético, se calculó con el utilitario OWC Wizard del WAsP (versión 2.0.53) y la densidad de potencia media del viento en el nivel de 100 m durante el día en cada zona de acuerdo con la influencia de la brisa.

Análisis y discusión de los resultados

Comportamiento de los flujos en Caibarién

Como ya se planteó la línea costera de Caibarién tiene una orientación NW-SE con el mar hacia el NE; por tanto, para que exista un flujo sinóptico entrando a la costa, las componentes del viento deben estar desde el Norte-noroeste (NNW) hasta el Este-sudeste (ESE). En este rango el viento estuvo, de los 184 días analizados, 73 % (134 días). Esto se corresponde con lo planteado por Lecha y colaboradores (1994): "las características fundamentales de los vientos en Cuba durante el período lluvioso (de mayo a octubre), son de predominio de la influencia de los vientos alisios, los que imponen un régimen estable de vientos del NE al E, aunque en ocasiones, por retraimiento del centro anticiclónico oceánico, los vientos pueden rolar al SE." En 16 % (30 días) de los días, el flujo sinóptico estuvo saliendo de la costa, donde las componentes del viento estuvieron entre el SSE y el WNW. Mientras que en 11 % (20 días) de los días, el flujo estuvo relativamente paralelo a la costa, con sus componentes del SE o del NW.

La brisa de mar de segunda especie o frente de brisa, por sus características de presentarse con un flujo general saliendo de la costa, es la que le ofrece más resistencia al flujo sinóptico, por lo que se obtienen velocidades del viento resultante inferiores a las estimadas. Por tal motivo, en este epígrafe se comenzó a analizar los casos donde el flujo estuvo saliendo de la costa. Después, para determinar qué efectos producía la brisa de mar en la resultante del viento, se analizaron los días con flujo paralelo. Por último, para saber si la brisa de mar favorece al flujo sinóptico y los efectos que origina la brisa de primera especie, se analizaron los días en que el flujo entró a la costa.

Flujo saliendo de la costa

Al analizar los gráficos obtenidos de las componentes zonal y meridional del viento, se pudo apreciar con clari-

dad del giro del viento registrado en los instrumentos (Fig. 2). En esta figura se puede observar que en las primeras horas de la mañana (A) la dirección del viento se encuentra en el mismo sentido del flujo sinóptico. Con el calentamiento diurno, la brisa de mar comienza a imponerse al flujo sinóptico. En dependencia de la intensidad del flujo, el frente de brisa entre las 12:00 y las 15:00 h, hace girar el viento (B), logrando oponerse totalmente al flujo en intervalos y poniéndose de manifiesto la brisa de segunda especie (C y principio del D). Al final de la tarde, la dirección del viento vuelve a recuperar su estado inicial (final del D).

Con el objetivo de poder evaluar la afectación que provocó en la resultante del viento la brisa de mar de segunda especie (Fbm), se decidió dividir la muestra en tres grupos de acuerdo con el nivel de influencia del Fbm, teniendo en cuenta el tiempo en que la dirección del viento se encontró hacia tierra. Estos grupos son los siguientes:

G1. Débil influencia del Fbm (0 % del día con giro del viento hacia tierra). La brisa de mar de segunda especie no afectó o tuvo poca influencia en el flujo general del viento.

Componentes zonal y meridional del viento

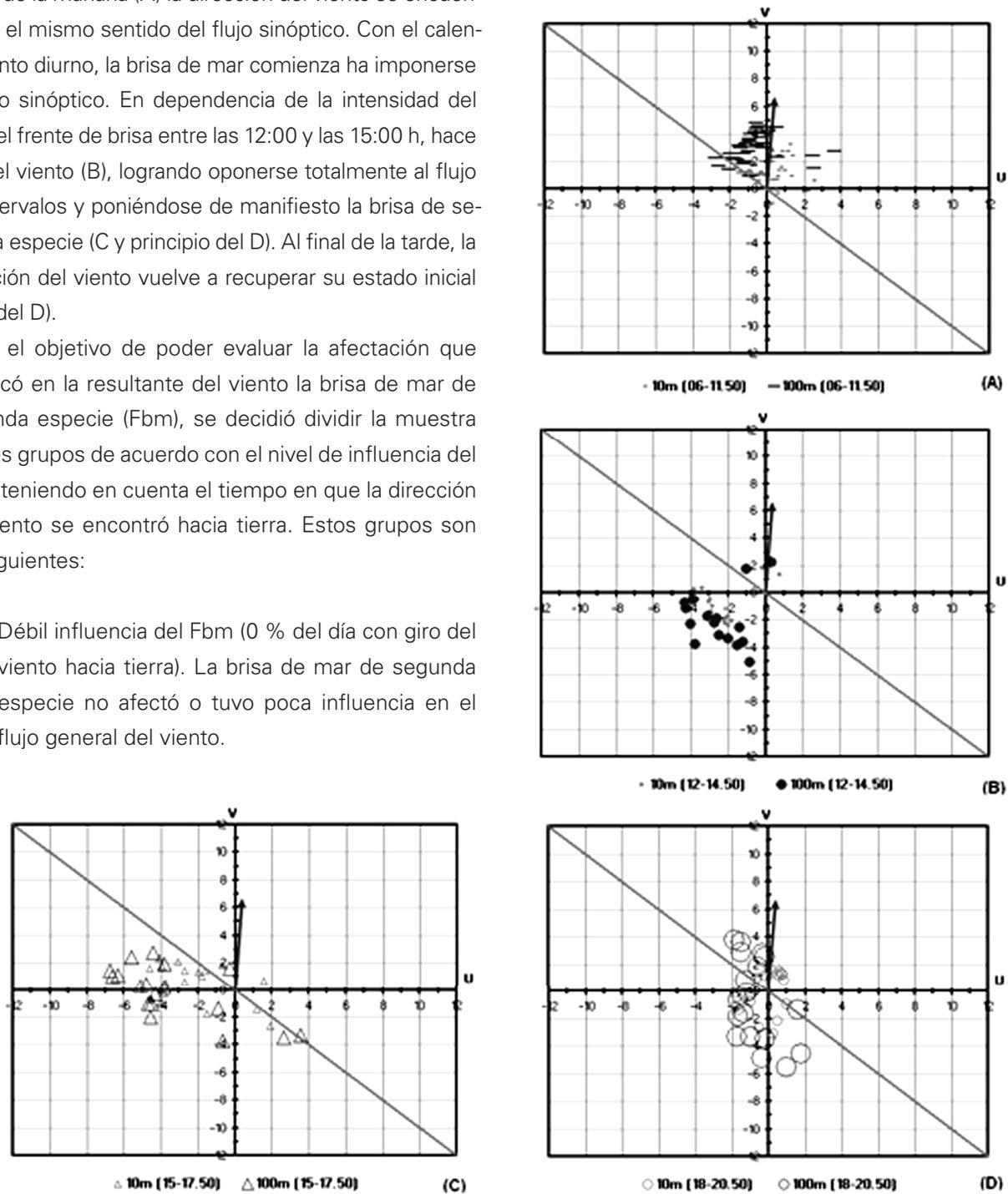


Fig. 2. Componentes zonal y meridional del viento correspondiente al día 2 de octubre de 2007. La línea transversal indica la orientación de la costa. La flecha refleja la dirección e intensidad del vector del flujo sinóptico. En la leyenda se muestran los diferentes intervalos de tiempo, con figuras geométricas pequeñas y grandes de los niveles de 10 y 100 m, respectivamente.

- G2. Moderada influencia del Fbm (menos de 50 % del día con giro del viento hacia tierra). La brisa de mar de segunda especie tuvo un efecto moderado sobre el flujo general del viento.
- G3. Fuerte influencia del Fbm (más de 50 % del día con giro del viento hacia tierra). La brisa de mar de segunda especie presentó una marcada influencia sobre el flujo general del viento.

De los 30 días estudiados con flujo saliente, 4 días tuvieron características de G1; del segundo grupo (G2), 15 días y del tercer grupo 11 días. Los días con débil influencia del Fbm solo se presentaron en el mes de junio, a diferencia de los días con moderada influencia que estuvieron distribuidos entre todos los meses y se observaron dos máximos durante los meses de junio y septiembre. Sin embargo, los días con fuerte influencia fueron a partir de julio y el máximo de ocurrencia se presentó en octubre (Fig. 3).

Al analizar el perfil vertical del viento para cada nivel de influencia del Fbm (Fig. 4), se pudo observar una diferencia considerable entre los tres grupos, durante los días donde la influencia del Fbm, los promedios de velocidad del viento fueron superiores en comparación con los días en que el Fbm desempeñó alguna influencia sobre la resultante del viento. Sin embargo, durante los días de mayor influencia del Fbm, las velocidades se mantuvieron superiores con respecto a los días en que el predominio del Fbm fue moderado.

Lo anteriormente descrito se debe a que durante los días con débil influencia, la resultante del viento se mantuvo con el mismo sentido del flujo sinóptico. Por tanto, los valores registrados estarán condicionados por las características sinópticas de cada día, sin la presencia de una componente en sentido contrario como la brisa de mar; sin embargo, al presentarse cierta influencia de esta brisa, el flujo sinóptico se verá obstaculizado por una componente en sentido contrario. Al mantenerse el Fbm durante más tiempo, la dirección del viento se estabiliza en un mismo sentido, depen-

diendo de los valores de la resultante de la intensidad de esta masa de aire.

En el histograma de frecuencia de velocidad del viento para cada muestra (Fig. 5) se pudo observar claramente, las diferencias entre los grupos explicados en el perfil vertical del viento. En los casos donde la influencia del Fbm fue débil, las velocidades del viento en el nivel de 100 m se mantuvieron entre 1 y 11 m/s, con un máximo entre 6 y 7 m/s. Los valores por encima de 4 m/s (velocidad de arranque de los aerogeneradores) se mantuvieron más de 67 % del tiempo. En estos casos, al imperar el flujo sinóptico, los registros de velocidad del viento estuvieron condicionados por las características sinópticas de cada día.

Distribución de los grupos por meses

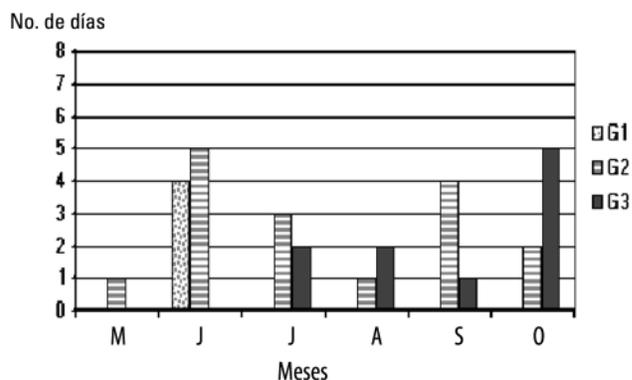


Fig. 3. Distribución de los grupos por meses.

Perfil vertical del viento en Caibarién con flujo saliente

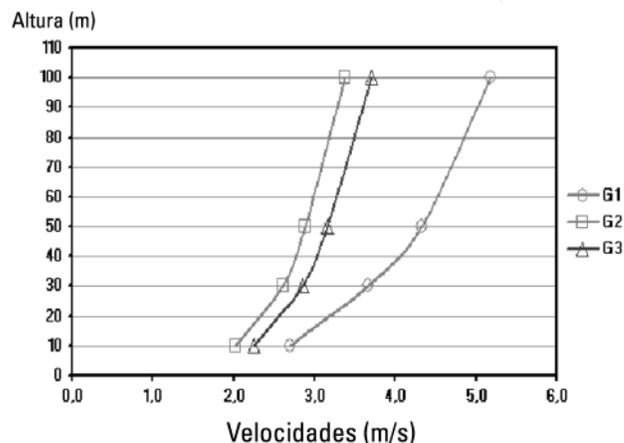


Fig. 4. Perfil vertical del viento con un flujo saliendo de la costa de Caibarién, en dependencia de la influencia de la brisa de mar de segunda especie, para los cuatro niveles de medición (10, 30, 50 y 100 m).

Distribución de frecuencia de velocidad a 100 m con respecto a la influencia de la brisa del mar

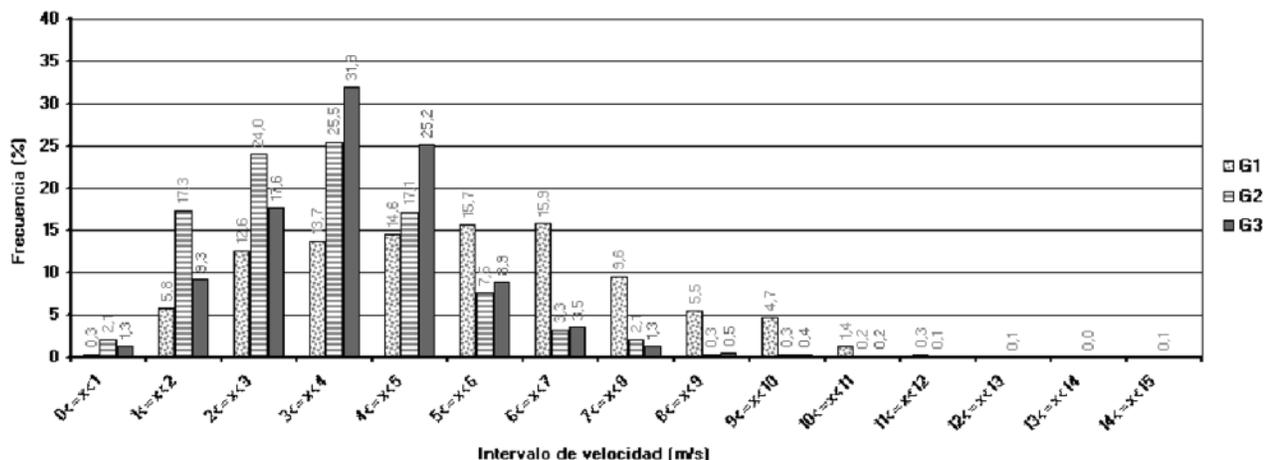


Fig. 5. Distribución de frecuencia de la velocidad del viento en el nivel de 100 m, con respecto a los grupos analizados.

Los días donde la influencia del Fbm fue moderada, se registraron valores entre 14 y 15 m/s, pero estuvieron más concentrados por debajo de los 8 m/s, con un máximo de ocurrencia entre 3 y 4 m/s, manteniéndose los valores por encima de 4 m/s menos de 32 % del tiempo. Durante estos días se registraron máximos de la velocidad del viento por encima de 8 m/s, pero estos solo ocurrieron durante poco tiempo debido a la inestabilidad que provoca la influencia del Fbm. Al mantenerse variando la dirección del viento, como consecuencia de la entrada y salida del frente de brisa, y no permanecer un régimen determinado durante el día, trae consigo que las velocidades del viento no se establezcan, siendo esto desfavorable para el aprovechamiento de la energía eólica.

Los días en los cuales la influencia del Fbm fue fuerte, no se registraron valores superiores a 11 m/s, con un máximo de ocurrencia entre 3 y 4 m/s, y se mantuvieron los valores por encima de 4 m/s solo 40 % del tiempo. Al imponerse el flujo de la brisa de mar de segunda especie al flujo sinóptico durante más tiempo en el día, trajo como consecuencia que las velocidades del viento no aumentaran, considerablemente, pues estaban condicionadas por la relación entre la intensidad del flujo general y la brisa de mar. Sin embargo, se mantuvieron más estables.

En la distribución de frecuencias por rumbos para cada grupo (Fig. 6), se puede observar con claridad cómo varía la dirección del viento en dependencia del tipo de influencia ejercida por el flujo local detrás del Fbm. Mien-

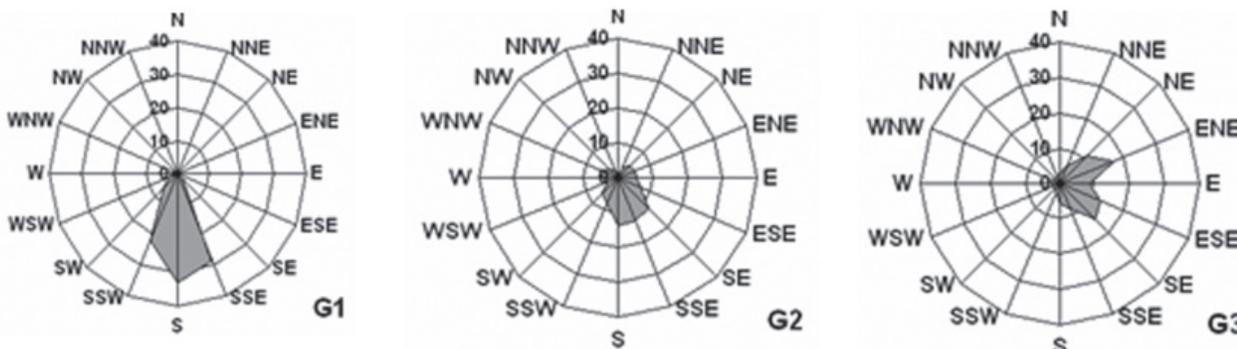


Fig. 6. Distribución de frecuencia por rumbo en función del tipo de influencia de la brisa de mar de segunda especie.

tras que la influencia de ese flujo fue débil, la dirección predominante del viento está en el segundo y el tercer cuadrantes (G1). Al presentarse una influencia moderada de la brisa, la dirección del viento varía en los cuatro cuadrantes (G2). Pero, al establecerse el flujo después del Fbm durante un mayor tiempo, la mayor frecuencia de la dirección del viento se establece entre el primer y el segundo cuadrantes (G3). Lo explicado antes es confirmado cuando se calcula la densidad de potencia media para cada uno de estos grupos (Tab. 1). De esta forma se obtuvo, que la mayor densidad de potencia media (134 W/m^2) se pudo alcanzar durante los días en que no hubo influencia del flujo de la brisa de mar de segunda especie. Sin embargo, durante los días en que hubo alguna influencia de ese flujo, los valores de la densidad de potencia media estuvieron determinados por el nivel de influencia de la brisa y se obtuvo mayor densidad de potencia media durante los días de fuerte influencia con respecto a los de moderada influencia (47 y 44 W/m^2 respectivamente).

Tabla 1. Densidad de potencia media obtenida para cada grupo

| G1 | G2 | G3 |
|----------------------|---------------------|---------------------|
| 134 W/m ² | 44 W/m ² | 47 W/m ² |

Flujo paralelo a la costa

En la muestra tomada se presentaron 20 días con un flujo general relativamente paralelo a la costa. La influencia de la brisa de mar en la costa N a lo largo del día hace que tanto el flujo general del SE como del NW se desvíe hacia tierra. Durante estas condiciones, el criterio empleado será el siguiente:

- g1. Débil influencia de la brisa de primera especie (0 % del día con giro del viento hacia tierra). La circulación de la brisa de mar no afecta o tiene poca influencia en el flujo general del viento.
- g2. Moderada influencia de la brisa de primera especie (menos de 50 % del día con giro del viento

hacia tierra). La circulación de la brisa de mar tiene un efecto moderado sobre el flujo general del viento.

- g3. Fuerte influencia de la brisa de primera especie (más de 50 % del día con giro del viento hacia tierra). La circulación de la brisa de mar presenta una marcada influencia sobre el flujo general del viento.

En la muestra tomada no se encontró ningún día con débil influencia de la brisa de mar (g1). Con características de moderada influencia (g2) ocurrieron durante 9 días, distribuidos por los meses de mayo, julio, agosto, septiembre y su máximo de ocurrencia en octubre. Con la presencia de fuerte influencia (g3) ocurrieron 11 días, repartidos entre los meses de junio y septiembre, con un máximo de ocurrencia en junio (Fig. 7).

Según se puede apreciar en el perfil vertical del viento (Fig. 8), los promedios de velocidad del viento entre estas dos muestra no mostraron una influencia significativa.

Al analizar la distribución de frecuencia de velocidades, estas diferencias se pueden valorar con mejor claridad (Fig. 9). En presencia de moderada influencia de la brisa de mar, se registraron valores entre 9 y 13 m/s durante muy pocas ocasiones. Los valores más concentrados estuvieron por debajo de 9 m/s, con un máximo de ocurrencia entre 3 y 4 m/s. Los valores por encima de 4 m/s estuvieron por debajo de 37 % del tiempo, sin embargo, en los casos donde la influencia de la brisa fue fuerte, la mayor frecuencia ocurrió con velocidades entre 4 y 5 m/s, y no superaron los 10 m/s, no obstante a que valores por encima de 4 m/s se mantuvieron durante 48 % del tiempo.

En los casos estudiados se pudo apreciar, que en la mayoría la dirección del viento realizó un giro de 360° . Cuando las isobaras se encontraron relativamente paralelas a la línea de costa, al inicio de establecerse el régimen de brisa, su vector cortaba las isobaras hacia tierra. Debido a la fuerza desviadora de Coriolis, durante las horas del día con la brisa, el vector tiende a girar a favor de las manecillas del reloj en el emisario N. En

dependencia de la intensidad del flujo general, el vector aumentará o disminuirá su ángulo de desviación. Es por esto que, mientras más tiempo logre prevalecer la influencia de la brisa de mar, mayor será el aprovechamiento eólico, pues al disminuir su influencia el vector resultante comenzará a girar a la derecha y mientras más se oponga a la dirección del flujo general, la velocidad del viento descenderá.

Al realizar la distribución de frecuencia por rumbo para cada grupo (Fig. 10), se puede observar cómo varía la dirección del viento en dependencia del tipo de influencia ejercida por la brisa de mar. Al presentarse una influencia moderada de la brisa, la dirección del viento varía en los cuatro cuadrantes (G2). Sin embargo, al permanecer más de 50 % del día con predominio de la brisa de mar, la mayor frecuencia de la dirección del viento se establece entre el primer y el segundo cuadrantes, prevaleciendo mayormente hacia el primer cuadrante (G3).

Al determinar la densidad de potencia media para cada uno de estos grupos (Tab. 2) se obtuvo poca diferencia entre ellos, siendo mayor la densidad de potencia media durante los días de fuerte influencia con respecto a los de moderada influencia (56 y 46 W/m² respectivamente). Las causas de este resultado fue explicado, anteriormente.

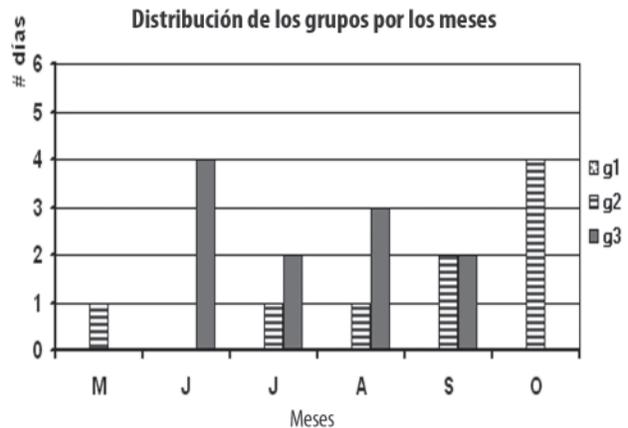


Fig. 7. Distribución de los grupos por meses.

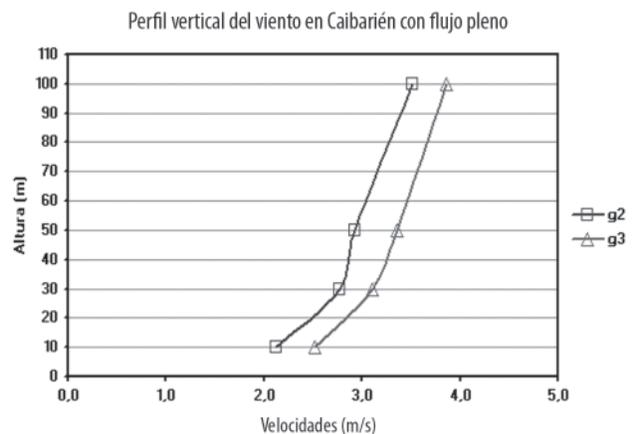


Fig. 8. Perfil vertical del viento con un flujo paralelo a la costa de Caibarién, en dependencia de la influencia de la brisa de mar, para los cuatro niveles de medición (10, 30, 50 y 100 m).

Distribución de la frecuencia de velocidad a 100 m con respecto a la influencia de la brisa de mar

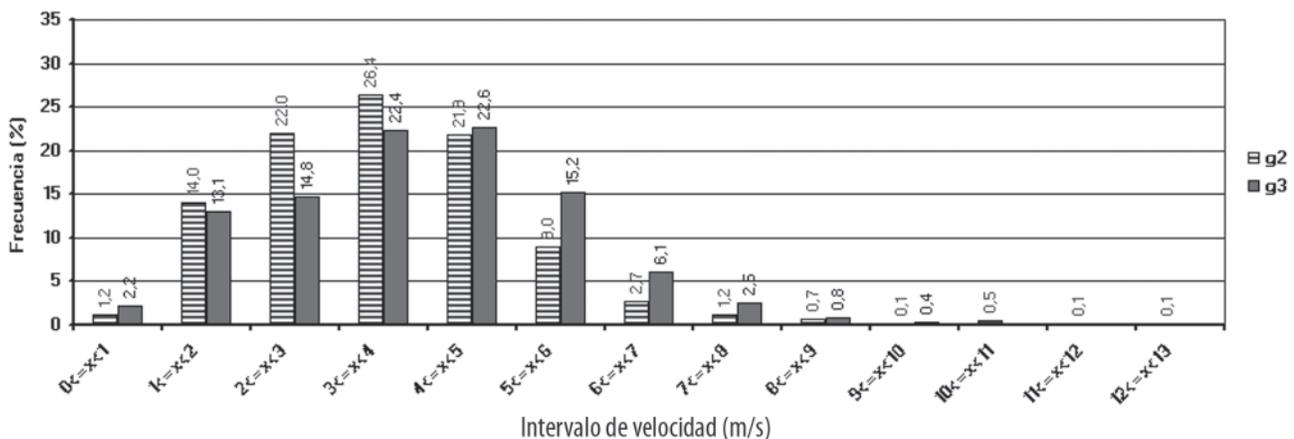


Fig. 9. Distribución de frecuencia de la velocidad del viento en el nivel de 100 m con respecto a los grupos analizados.

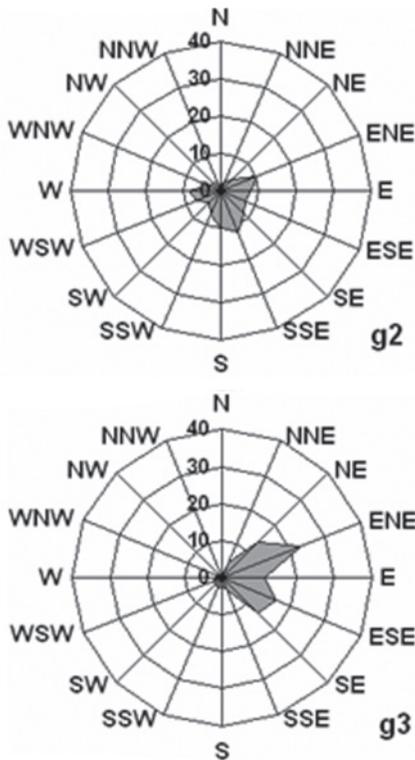


Fig. 10. Distribución de frecuencia por rumbo en función del tipo de influencia de la brisa de mar.

Tabla 2. Densidad de potencia media obtenida para cada grupo

| g2 | g3 |
|---------------------|---------------------|
| 46 W/m ² | 56 W/m ² |

Flujo entrado a la costa

En presencia de flujo sinóptico entrando a la costa, la brisa de mar tiende a incrementar la resultante del viento por encontrarse en el mismo sentido del flujo general. Bajo este escenario solo perjudicaría la brisa de mar de primera especie por la noche, pues esta hace que la dirección gire saliendo de la costa en contra del flujo general. Pero estas condiciones, según Carnesolatas (2002a) se presentan con flujos sinópticos débiles. Por tal motivo, en este epígrafe se decidió analizar la influencia de la brisa de la manera siguiente:

g1. Débil influencia de la brisa de primera especie (más de 50 % del día con giro del viento hacia el mar). La

circulación de la brisa de mar no afecta o tiene poca influencia sobre el flujo general del viento.

g2. Moderada influencia de la brisa de primera especie (menos de 50 % del día con giro del viento hacia el mar). La circulación de la brisa de mar tiene un efecto moderado sobre el flujo general del viento.

g3. Fuerte influencia de la brisa de primera especie (0 % del día con giro del viento hacia el mar). La circulación de la brisa de mar tiene una marcada influencia en el flujo general del viento.

De los 134 días con la presencia de este flujo, 74 días tuvieron características de fuerte influencia de la brisa (g3) distribuidos entre todos los meses, con un máximo de ocurrencia en el mes de mayo (Fig. 11). Con moderada influencia (g2) hubo 57 días, prácticamente distribuidos de manera uniforme entre todos los meses, con dos pequeños máximos de ocurrencia en los meses de mayo y agosto. Solo en 3 días se pudo apreciar las condiciones del tercer grupo (g1) registrados en los meses de septiembre y octubre.

El perfil vertical del viento para estos grupos describe una marcada diferencia entre los promedios de velocidad del viento para cada altura de medición (Fig. 12). Durante los días en que la brisa de primera especie tuvo alguna influencia, el flujo sinóptico se favoreció por esta, y se registraron promedios de velocidades del viento muy superiores con respecto a los días en que no hubo influencia.

Al realizar la distribución de frecuencia de la velocidad del viento, teniendo en cuenta los grupos anteriores (Fig. 13), se pudo observar que con una débil influencia de la brisa de primera especie, los valores no superaron los 11 m/s; el máximo de ocurrencia se presentó entre 1 y 2 m/s, solo manteniéndose por encima de 4 m/s 33 % del tiempo. De toda la muestra solo se encontraron 3 días con estas características, por tanto tiene una probabilidad muy baja de ocurrencia.

Con una moderada influencia de la brisa de primera especie, los valores no superaron los 13 m/s, con un

máximo de ocurrencia entre 4 y 5 m/s, y se mantuvieron por encima de 4 m/s 60 % del tiempo.

Con fuerte influencia de la brisa de mar de primera especie se registraron valores de hasta 15 m/s. El máximo de ocurrencia estuvo comprendido entre 6 y 7 m/s, y se mantuvieron los valores por encima de 4 m/s en 80 % del tiempo. Al encontrarse el vector de la brisa de mar en el mismo sentido que el flujo sinóptico, esto conlleva a que el flujo sinóptico se vea favorecido por la brisa de mar y se obtengan valores más elevados que los previstos.

En la distribución de frecuencia por rumbos para cada grupo (Fig. 14), se puede observar, claramente, cómo varía la dirección del viento en dependencia del tipo de influencia ejercida por la brisa de primera especie. Mientras que la influencia de esta brisa es débil, la dirección varía en los cuatro cuadrantes. Al presentarse una influencia moderada de este tipo de brisa, la dirección del viento varía entre el primer y segundo cuadrantes; sin embargo, al establecerse la brisa de primera especie durante mayor tiempo, la dirección predominante del viento se encuentra en el primer cuadrante.

De igual manera que en los casos anteriores, se calculó la densidad de potencia media para cada uno de estos grupos (Tab. 3), de esta forma se obtuvo que la mayor

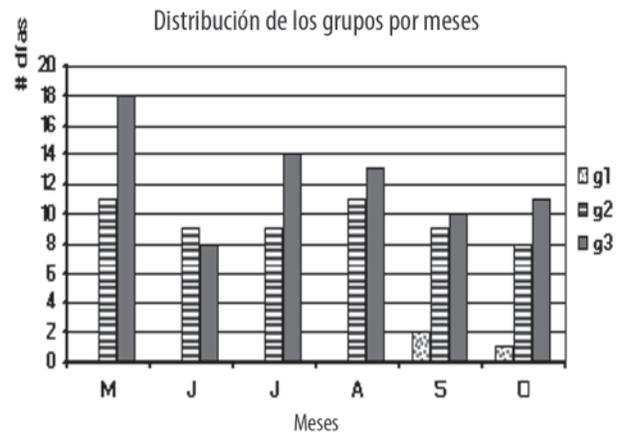


Fig. 11. Distribución de los grupos por meses.

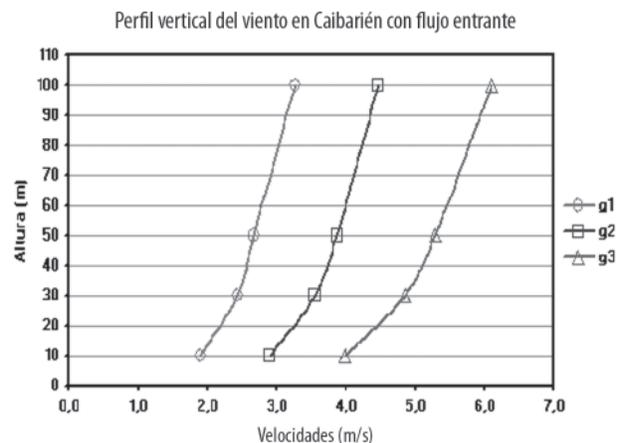


Fig. 12. Perfil vertical del viento con un flujo entrando a la costa de Caibarién, en dependencia de la influencia de la brisa de mar de primera especie, para los cuatro niveles de medición (10, 30, 50 y 100 m).

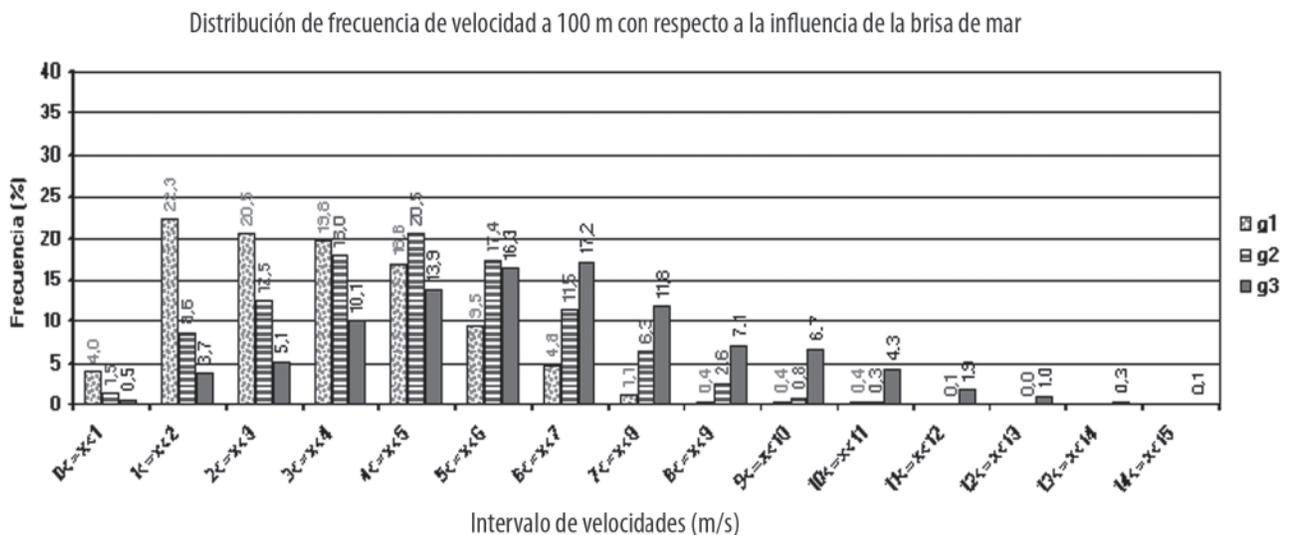


Fig. 13. Distribución de la frecuencia de velocidad del viento en el nivel de 100 m con respecto a los grupos analizados.

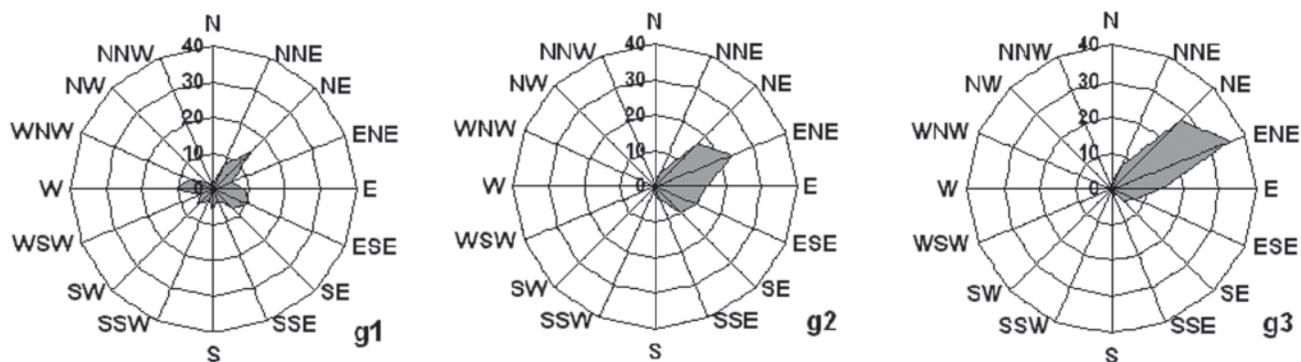


Fig. 14. Distribución de frecuencia por rumbo en función del tipo de influencia de la brisa de mar de primera especie.

densidad de potencia media (212 W/m^2) se alcanzó durante los días en que hubo fuerte influencia de la brisa de primera especie. Pero durante los días en que hubo influencia moderada de ese proceso, los rendimientos eólicos disminuyeron considerablemente y se obtuvo una densidad de potencia media de 86 W/m^2 , mientras que los días con débil influencia de la brisa de primera especie los resultados fueron muy bajos con valores de 42 W/m^2 . Estas circunstancias están originadas debido a todo lo explicado, anteriormente.

Tabla 3. Densidad de potencia media obtenida para cada grupo

| g1 | g2 | g3 |
|--------------------|--------------------|---------------------|
| 42 W/m^2 | 86 W/m^2 | 212 W/m^2 |

Comportamiento de los flujos en El Brinco

De los 184 días analizados, mientras que en Caibarién 73 % de los días (134 días) el flujo general era entrando a la costa, en El Brinco 70 % de los días (129 días) se presentaron con flujo sinóptico saliendo de la costa. De acuerdo con la orientación que tiene la costa de El Brinco [Oeste-noroeste (WNW) – ESE] con el mar hacia el Sur-suroeste (SSW), para que se produzca este tipo de flujo, las componentes del viento deben de estar del NW al E. Con flujo entrando a la costa se presentó 19 % de los días (35 días), donde las componentes del viento estuvieron entre el SE y el Oeste (W). Mientras que 11 % (20 días) de los días el flujo estuvo

relativamente paralelo a la costa, con sus componentes del ESE o del WNW.

En el presente epígrafe se seguirá el mismo orden de análisis que el anterior. Este es, al analizar primero los casos donde el flujo sinóptico estuvo saliendo de la costa, posteriormente con flujo paralelo y, por último, cuando el flujo estuvo entrando a la costa. Además, se mantuvo el mismo criterio empleado para dividir la muestra con respecto al tipo de influencia de la brisa de mar para cada tipo de flujo sinóptico.

Flujo saliendo de la costa

De los 129 días estudiados con flujo saliente, se observaron 17 días con las características de débil influencia de la brisa de mar de segunda especie (G1), distribuidos en los meses de mayo, agosto, septiembre y un máximo de ocurrencia en octubre (Fig. 15). Con una influencia moderada de esta misma brisa (G2) se encontraron 49 días distribuidos durante todos los meses, con un máximo de ocurrencia en el mes de septiembre. Sin embargo, el mayor número de días (63) estuvo relacionado con una fuerte influencia de la brisa de mar de segunda especie (G3). Estas condiciones estuvieron presentes durante todo el período con un máximo de ocurrencia en el mes de mayo.

Al analizar el perfil vertical del viento (Fig. 16) para cada nivel de influencia de la brisa de mar de segunda especie (Fbm), se pudo observar una diferencia con-

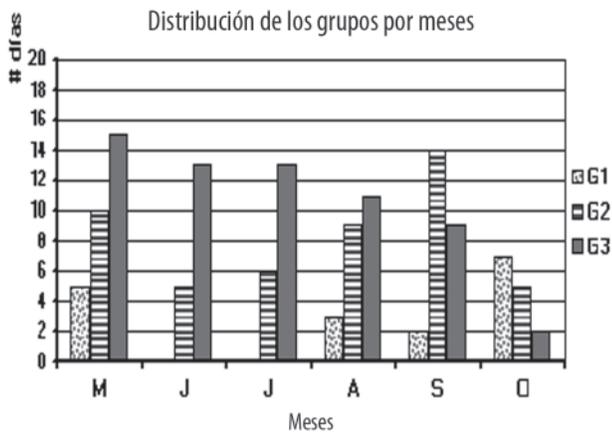


Fig. 15. Distribución de los grupos por meses.

siderable entre los días con débil influencia y aquellos donde se presentó alguna influencia. Durante los días donde la influencia del Fbm fue débil, el perfil muestra una marcada cizalladura vertical entre los niveles bajos y altos. Sin embargo, durante los días con alguna influencia de la brisa, la cizalladura no es tan pronunciada, mostrando una mayor diferencia entre los niveles de 10 y 30 m, y disminuyendo con la altura. Durante los días con moderada influencia, los promedios de velocidad en los niveles altos fueron más elevados que los días con fuerte influencia. Estas diferencias pueden estar asociadas con la cercanía que presenta esta torre de la costa.

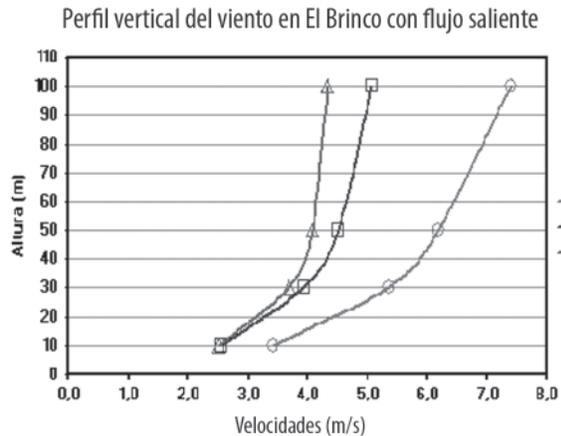


Fig. 16. Perfil vertical del viento con un flujo saliendo de la costa de El Brinco, en dependencia de la influencia de la brisa de mar de segunda especie, para los cuatro niveles de medición (10, 30, 50 y 100 m).

La distribución de frecuencia de velocidad del viento para cada muestra (Fig. 17) mostró más claro las diferencias expresadas antes. En los casos donde la influencia del Fbm fue débil, llegaron a registrarse velocidades del viento en el nivel de 100 m hasta 13 m/s, con un máximo de ocurrencia entre 8 y 9 m/s, y manteniéndose por encima de 4 m/s, 94 % del tiempo.

Los días donde la influencia del Fbm fue moderada, se registraron valores entre 15 y 16 m/s, pero los valores estuvieron más concentrados por debajo de los 8 m/s, con un máximo de ocurrencia entre 4 y 5 m/s; los valores

Distribución de frecuencia de velocidad a 100 m con respecto a la influencia de la brisa del mar

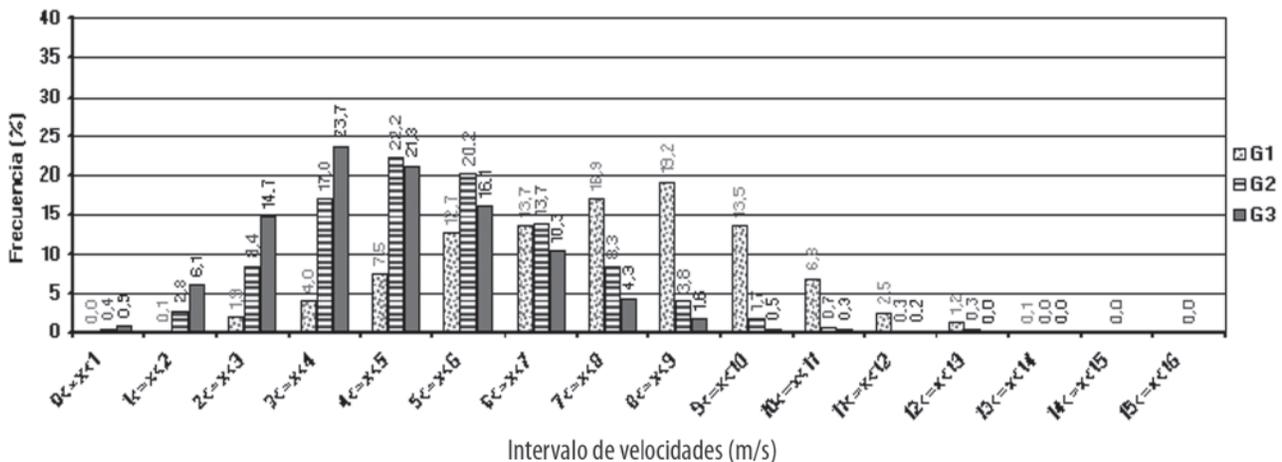


Fig. 17. Distribución de frecuencia de la velocidad del viento en el nivel de 100 m con respecto a los grupos analizados.

se mantuvieron por encima de 4 m/s, 72 % del tiempo.

Durante los días en los cuales la influencia de esta brisa fue fuerte, se registraron valores entre 10 y 14 m/s, pero fueron muy ocasionales. Las velocidades se encontraron más concentradas por debajo de los 9 m/s, con un máximo de ocurrencia entre 3 y 4 m/s; los valores se mantuvieron por encima de 4 m/s, 55 % del tiempo.

En la distribución de frecuencia por rumbos para cada grupo (Fig. 18), se pudo observar claramente cómo varió la dirección del viento en dependencia del tipo de influencia ejercida por la brisa de mar de segunda especie. Mientras que la influencia de esta brisa fue débil, la dirección predominante del viento se encontró en el primer cuadrante. Al presentarse una influencia moderada de la brisa, la dirección del viento varió entre el primer y el segundo cuadrantes, siendo mayor la frecuencia hacia el primer cuadrante; sin embargo, cuando la brisa se mantuvo más tiempo, la mayor frecuencia de la dirección del viento fue entre el segundo y el tercer cuadrantes.

Luego de caracterizado el efecto del Fbm en función del nivel de influencia, se determinó la densidad de potencia media para cada uno de los grupos (Tab. 4). La mayor densidad de potencia media (307 W/m²) se alcanzó durante los días en que no hubo influencia de la brisa de segunda especie; pero durante los días en que hubo alguna influencia de ese proceso, los valores estuvieron determinados por el nivel de influencia de la brisa y se

obtuvo mayor densidad de potencia media durante los días de moderada influencia con respecto a los de fuerte influencia (116 y 76 W/m² respectivamente).

Tabla 4. Densidad de potencia media obtenida para cada grupo

| G1 | G2 | G3 |
|----------------------|----------------------|---------------------|
| 307 W/m ² | 116 W/m ² | 76 W/m ² |

Flujo paralelo a la costa

Con un flujo sinóptico relativamente paralelo a la costa se presentaron 20 días. La influencia de la brisa de mar en la costa S, consiste en desviar el vector resultante hacia tierra, cuando el flujo sinóptico se encuentra, tanto del ESE como del WNW. Como ya se expresó en el epígrafe "Flujo paralelo a ola costa", durante estas condiciones no se puede hablar de brisa de primera o segunda especies. Por tanto, se tomó el criterio empleado en este mismo epígrafe para determinar el nivel de influencia de la brisa de mar y no se encontró ningún día con débil influencia de la brisa de mar. Con características de moderada influencia (g2) ocurrieron durante 6 días, distribuidos solo en los meses de junio y octubre (Fig. 19). Con la presencia de fuerte influencia (g3) se determinaron 14 días, distribuidos entre los meses de junio, julio, agosto y octubre, con máximos de ocurrencia en julio y octubre.

Según se puede apreciar en el perfil vertical del viento (Fig. 20), los promedios de velocidad del viento en-

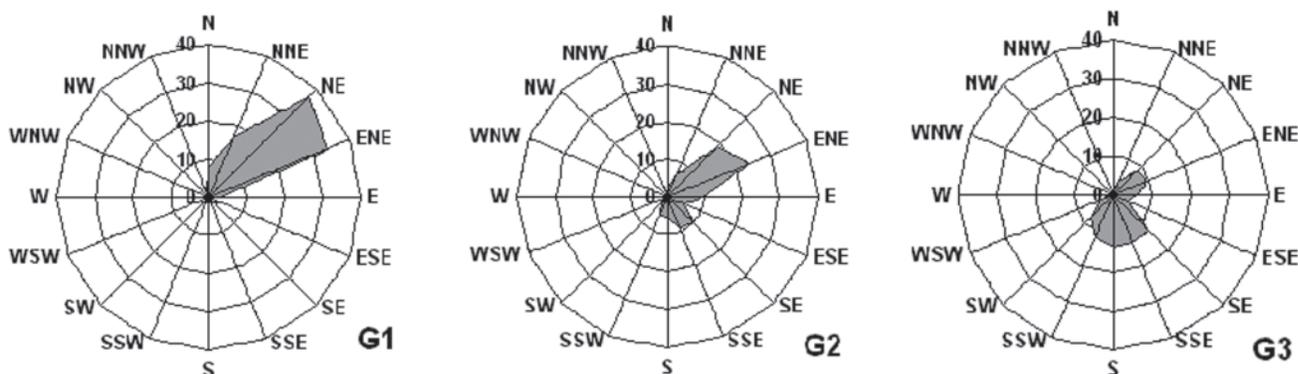


Fig. 18. Distribución de frecuencia por rumbo en función del tipo de influencia de la brisa de mar de segunda especie.

tre estas dos muestras no presentaron una marcada diferencia. Se observó mayor cizalladura vertical a partir del nivel de 30 m, en los casos de moderada influencia de la brisa de mar.

En la distribución de frecuencia de velocidades, estas diferencias se pueden observar con mejor claridad (Fig. 21). En presencia de moderada influencia de la brisa de mar, no se registraron valores superiores a 12 m/s, y el máximo de ocurrencia se situó entre 5 y 6 m/s. Los valores por encima de 4 m/s se mantuvieron durante 83 % del tiempo.

En los casos donde la influencia de la brisa fue fuerte, se registraron valores hasta 16 m/s, pero fueron más frecuentes por debajo de 9 m/s, con el máximo de ocurrencia entre 4 y 6 m/s. Por encima de 4 m/s se mantuvo durante 77 % del tiempo.

En la distribución de frecuencia por rumbos para cada grupo (Fig. 22), se puede observar cómo varía la dirección del viento en dependencia del tipo de influencia ejercida por la brisa de mar. Al presentarse una influencia moderada de la brisa, la dirección del viento varía entre el primer y el segundo cuadrantes. Sin embargo, al permanecer más de 50 % del día con predominio de la brisa de mar, la mayor frecuencia de la dirección del viento es del segundo cuadrante.

Distribución de los grupos por meses

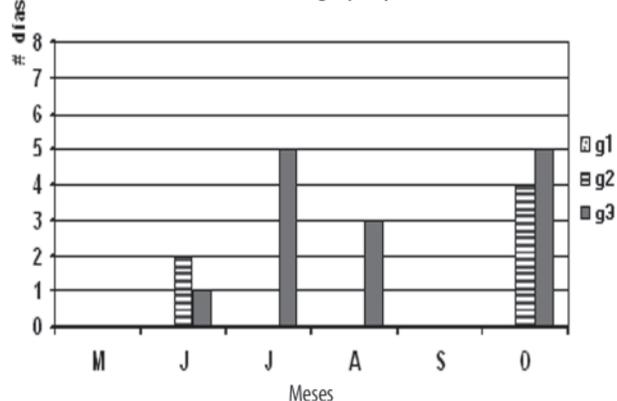


Fig. 19. Distribución de los grupos por meses.

Perfil vertical del viento en El Brinco con flujo paralelo

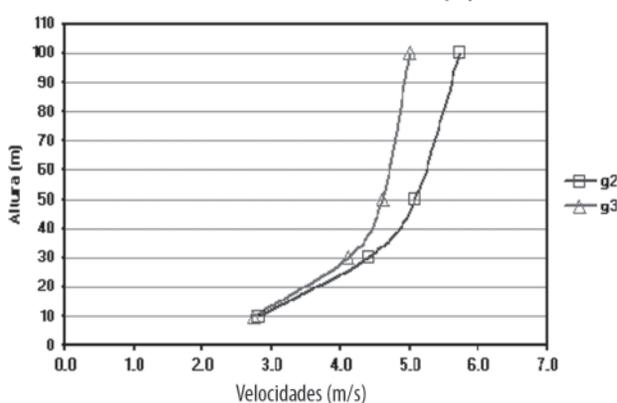


Fig. 20. Perfil vertical del viento con un flujo paralelo a la costa de El Brinco, en dependencia de la influencia de la brisa de mar, para los cuatro niveles de medición (10, 30, 50 y 100 m).

Distribución de frecuencia de velocidad a 100 m con respecto a la influencia de la brisa de mar

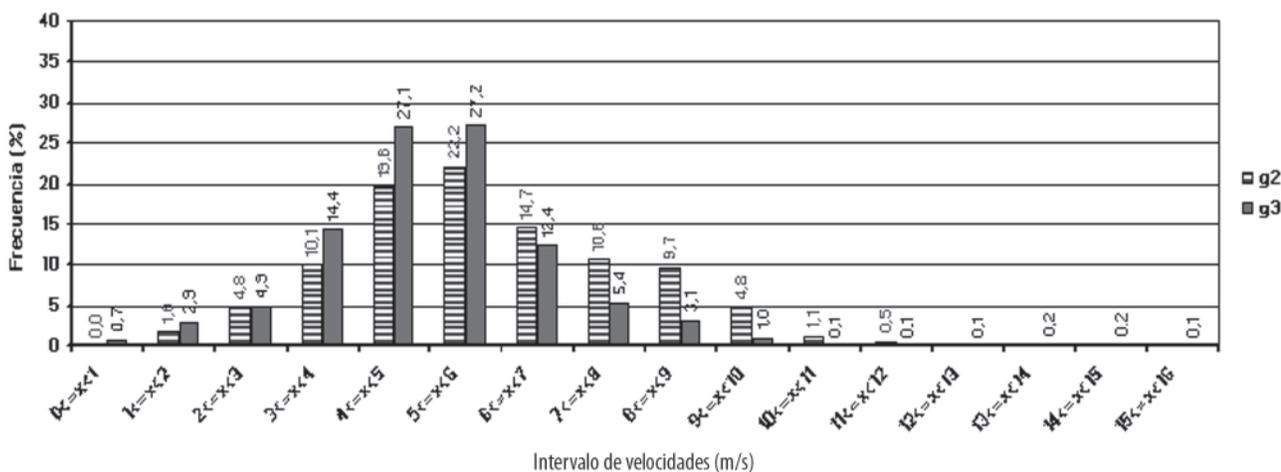


Fig. 21. Distribución de la frecuencia de velocidad del viento en el nivel de 100 m con respecto a los grupos analizados.

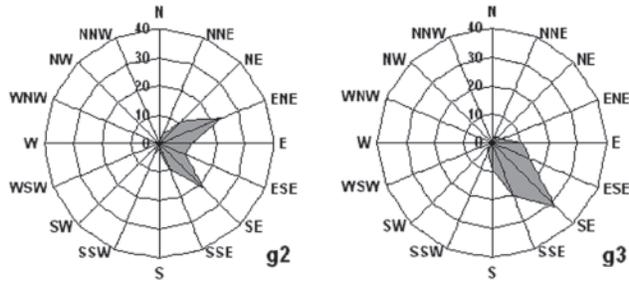


Fig. 22. Distribución de frecuencia por rumbo en función del tipo de influencia de la brisa de mar.

Flujo entrado a la costa

Para analizar estos casos se tomó como referencia el criterio empleado en el epígrafe “Flujo entrado a la costa”. De los 35 días con la presencia de este flujo, no hubo ninguno con las condiciones del primer grupo (g1). Del segundo grupo (g2) se encontraron 25 días repartidos entre los meses de junio y octubre, con un máximo de ocurrencia en octubre (Fig. 23). Se observaron 10 días con las características del tercer grupo (g3), distribuidos entre los meses de junio y septiembre, con un máximo de ocurrencia en el mes de junio. Cabe destacar que durante el mes de mayo no hubo ningún día con flujo entrando a la costa de El Brinco.

El perfil vertical del viento para estos grupos describe una diferencia entre los promedios de velocidad del viento para cada altura de medición (Fig. 24). Durante los días en que la brisa de primera especie tuvo una fuerte influencia, el flujo sinóptico se vio favorecido por esta brisa, trayendo consigo que la cizalladura vertical del viento fuese superior con respecto a los días en que ocurrió moderada influencia.

En la distribución de frecuencia de la velocidad del viento, teniendo en cuenta los grupos anteriores (Fig. 25), se pudo observar que durante los días con moderada influencia de la brisa de primera especie, se registraron valores entre 10 y 16 m/s, en cortos intervalos de tiempo, y se observó mayor frecuencia por debajo de 8 m/s. Los máximos de ocurrencia estuvieron entre

5 y 6 m/s, y se mantuvieron por encima de 4 m/s, 60 % del tiempo.

Sin embargo, con fuerte influencia de la brisa de mar de primera especie se registraron valores hasta de 15 m/s. El máximo de ocurrencia estuvo entre 4 y 5 m/s, y se mantuvieron valores por encima de 4 m/s, 74 % del tiempo.

Con la distribución de frecuencia por rumbos para cada grupo (Fig. 26), se puede observar con claridad cómo varía la dirección del viento en dependencia del tipo de influencia ejercida por la brisa de primera especie. Al presentarse una influencia moderada de este tipo de brisa, la dirección del viento varía entre el primero, el segundo y el tercer cuadrantes, y mientras que la influencia de esta brisa es fuerte, la dirección predominante del viento se encuentra entre el segundo y el tercer cuadrantes.

Con este flujo se obtuvo, que la mayor densidad de potencia media (219 W/m^2) se alcanzó durante los días en que hubo una influencia fuerte de la brisa de primera especie. Pero, durante los días en que la influencia fue moderada, los rendimientos eólicos disminuyeron, y se obtuvo una densidad de potencia media de 103 W/m^2 (Tab. 6).

Tabla 6. Densidad de potencia media obtenida para cada grupo

| g2 | g3 |
|----------------------|----------------------|
| 103 W/m ² | 219 W/m ² |

Conclusiones

Teniendo en cuenta los tres grupos analizados, según el nivel de influencia de la brisa de mar, se puede afirmar que:

- Con un flujo sinóptico saliendo de la costa, la mayor densidad de potencia se alcanza durante los días en que la influencia de la brisa de mar de segunda especie es débil; se mantiene la persistencia de los vientos por encima de 4 m/s en más de 60 % del

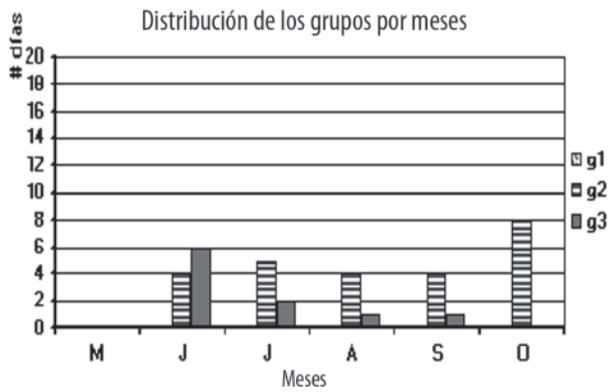


Fig. 23. Distribución de los grupos por meses.

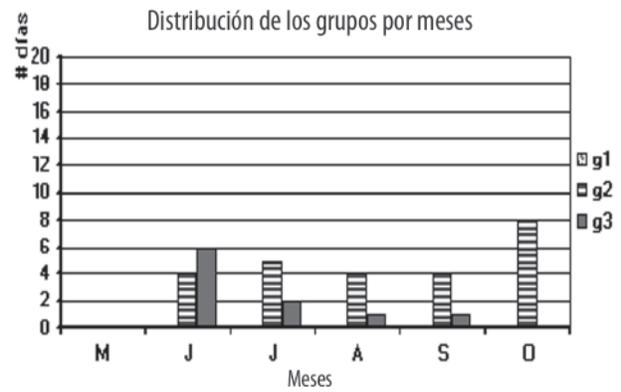


Fig. 24. Perfil vertical del viento con un flujo entrando a la costa de El Brinco, en dependencia de la influencia de la brisa de mar de primera especie, para los cuatro niveles de medición (10, 30, 50 y 100 m).

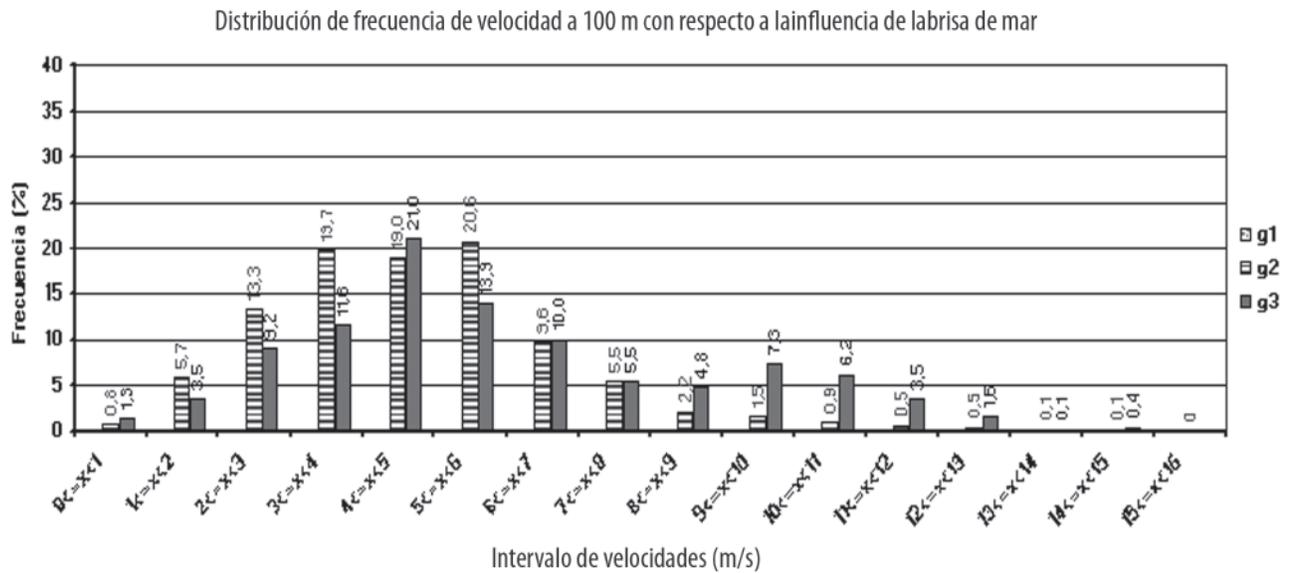


Fig. 25. Distribución de frecuencia de la velocidad del viento en el nivel de 100 m con respecto a los grupos analizados.

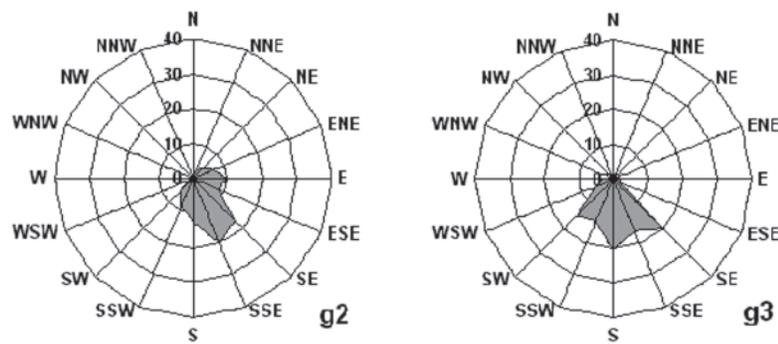


Fig. 26. Distribución de frecuencia por rumbo en función del tipo de influencia de la brisa de mar de primera especie.

día, tanto en la costa N como en la S. En Caibarién, bajo estas condición sinóptica, la densidad de potencia media que se obtuvo fue de 134 W/m², mientras que en El Brinco fue superior con 307 W/m².

- En presencia de flujo sinóptico paralelo a la costa, la influencia de la brisa de mar hace que las velocidades del viento se mantengan menos de 50 % del día por encima de 4 m/s en la zona de Caibarién, con valores de densidad de potencia media que no superan los 60 W/m². Sin embargo, en la zona de El Brinco los valores de velocidad del viento persisten por encima de 4 m/s, más de 75 % del día, con valores de densidad de potencia media de 158 W/m².
- La brisa de mar favorece al flujo sinóptico que entra a la costa, aún más cuando la influencia de la brisa de primera especie es fuerte, siendo el mejor escenario sinóptico para un buen aprovechamiento del recurso eólico. Con estas condiciones, las velocidades del viento permanecen por encima de 4 m/s, más de 70 % del día en ambas zonas de estudio, contribuyendo a la obtención de valores de densidad de potencia superiores a 200 W/m².
- El método empleado en la presente investigación constituye una nueva metodología para evaluar la influencia de la circulación local de las brisas para zonas costeras.

Recomendaciones

- Extender esta metodología de trabajo a las restantes torres costeras del país, incluyendo el período poco lluvioso.
- Adaptar la metodología empleada para la brisa de mar al régimen nocturno del terral.
- Determinar los patrones sinópticos que dan origen a cada nivel de influencia de las brisas.
- Tomar en cuenta estos resultados a la hora de seleccionar la ubicación de las nuevas zonas de prospección.
- **Agradecimientos:** A todos los compañeros del

grupo Eólico del Instituto de Meteorología (INS-MET), especialmente a Leticia Muñiz, por toda la colaboración brindada.

Bibliografía

- Batista, T. (1984): "Algunas consideraciones sobre la zona de convergencia de brisas en el Polígono Meteorológico de Camagüey y su influencia en el comportamiento de las precipitaciones", Oficina Territorial del Instituto de Meteorología en Camagüey y Ciego de Ávila, Academia de Ciencias de Cuba [Inédito].
- Carnesoltas, M. (1986): "La circulación local de brisa en Cuba", Tesis presentada para obtener el grado científico de Candidato a Doctor en Ciencias Físico-Matemáticas, Academia de Ciencias de Cuba, La Habana.
- Carnesoltas, M. (2002a): "La brisa de mar y tierra. Conceptos fundamentales", *Revista Cubana de Meteorología*, vol. 9, no. 1, pp. 43 – 72.
- _____ (2002b): "El frente de la brisa de tierra", *Revista Cubana de Meteorología*, vol. 9, no. 2, pp. 83 – 89.
- Carrasco, M., M. Carnesoltas y A. Roque (2007): "La circulación local de la brisa de mar y sus efectos en el aprovechamiento de la energía eólica. Casos de estudio", *Memorias del IV Congreso Cubano de Meteorología* [CD-ROM], ISBN: 978-959-7167-12-9, 4-8 de diciembre, La Habana, Cuba.
- Conrad, V. (1928): "Beobachtungen übre den Seewinden einen flacha Sandstrand", *Ann. Hydrogr.*, Berlin, 56, pp. 1 – 3.
- Fernández, A. y A. Pazos (1998): *Pronóstico trihorario del viento en la provincia de Ciego de Ávila*, Ed. Academia, La Habana.
- Hernández, S. R. y H. Elizarde (1981): "Climatología de las brisas en la costa norte de la provincia de Matanzas", Oficina Territorial del Instituto de Meteorología en Matanzas, Academia de Ciencias de Cuba [Inédito].
- Koschmieder, H. (1941): "Danziger Seewindstudien",

- Forsch. Arl. Meteor. Inst. Danzig*, 8, 1 – 44, 10, 1 39.
- Lecha, E. L., A. Fernández, y R. Bueno (1979): *Distribución de la precipitación en la parte central de Cuba y su relación con el campo de viento a mesoescala y a escala sinóptica*, Oficina Territorial del Instituto de Meteorología en Villa Clara, Academia de Ciencias de Cuba.
- Lecha, E. L., L. Paz y B. Lapinel (1994): *El clima de Cuba*, Ed. Academia, La Habana.
- NOAA (2008): "Physical Sciences Division de la NOAA/ESRL" [en línea], disponible en: <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.ncep.reanalysis.surface.html#temp> [Acceso de enero a marzo de 2008].
- OMM (1992): *Vocabulario Meteorológico Internacional*, OMM / no. 182, Secretaría de la OMM, 2da. ed., ISBN92 – 63 – 02182 – 1.
- Osorio, M. y J. Rego (1980): *Estudio climático de la brisa en la estación de Casa Blanca*, Departamento de Climatología del Instituto de Meteorología.
- Portela, S. M. (2002). "Pronóstico de la ocurrencia de 'brisote sucio' en Cuba", *Revista Cubana de Meteorología*, vol. 9, no. 2, pp. 49 – 53.
- Rey, O. (1982): *Características de la brisa en la localidad de Cienfuegos y su relación con la ocurrencia de precipitaciones*, Oficina Territorial del Instituto de Meteorología en Santa Clara, Academia de Ciencias de Cuba.
- Rivero, V. R. (1978): *Características sinóptico-climatológicas de las provincias de Camagüey y Ciego de Ávila*, Oficina Territorial del Instituto de Meteorología en Camagüey, Academia de Ciencias de Cuba.
- Sáenz, R. (1981). *Comportamiento de la brisa y su relación con la ocurrencia de las precipitaciones en la localidad de Jíbaro*, Oficina Territorial del Instituto de Meteorología en Santa Clara, Academia de Ciencias de Cuba.
- Soltura, R. y otros (2006): *Informe del Mapa de Potencial Eólico de Cuba*, Informe Científico-Técnico de Instituto de Meteorología.

Abstract

With the aim to determine the influence of the circulation of the sea breeze in the power utilization, the information from Meteorological Towers of References located in Caibarién and El Brinco were analyzed in rainy season 2007. To take account the synoptic situation prevailing each day, the sample was divided in three groups: Synoptic flow entering the coast, parallel, and leaving the coast. The wind vertical profiles for each sample were constructed and were obtained the frequency histograms for direction and wind speed at 100 m height. Finally, to establish a comparison between the samples in the power utilization, the average power density of wind was calculated by day in each zone.

Among the main results is found, with a synoptic flow entering to the coast the sea breeze favours to the synoptic flow, even more when the influence of the breeze of first type is strong, being the best synoptic condition for a good advantage of the wind resource. With these conditions the wind speeds remain above 4 m/s more than the 70 % of the time in both zones of study, contributing to obtain average power density values over 200 W/m².

Keywords: sea breeze, wind resource.