

El Frente de la Brisa de Tierra

Autor: MARIO CARNESOLTAS CALVO

Instituto de Meteorología. E-mail: marioc@mail.met.inf.cu

Resumen.

En el presente trabajo se expone la existencia del frente de la brisa de tierra, proceso apenas mencionado y poco estudiado en la bibliografía sobre el tema. Por lo general, la circulación de la brisa de mar y tierra surge y se desarrolla simultáneamente con la presencia de flujos de mayor escala, es por ello que sea también frecuente, aunque casi imperceptible, encontrar brisa de tierra de 2da. Especie, o sea, brisa frontal de tierra; Sin embargo, bajo determinadas condiciones el frente de la brisa de tierra está relacionado con situaciones meteorológicas significativas, como el denominado brisote sucio en la costa norte de Cuba durante el período poco lluvioso. Se incluye, como un caso de estudio, el análisis de la situación ocurrida el 13 de noviembre del 2001.

Introducción

Las características peculiares que presenta la brisa de mar cuando el flujo general está dirigido de tierra hacia el mar, fueron explicadas por primera vez por H. Koschmieder (1941). A partir de ese momento este tipo de brisa se le conoce como brisa de 2da. Especie o brisa frontal, para diferenciarla de la brisa descrita con anterioridad por Conrad (Citado por Defant, 1951).

El "frente de la brisa de mar" se encuentra posteriormente tratado en los trabajos de Wexler (1946), Leopold (1949), Defant (1951), Donn (1956), Warner (1978), Bornstein y Thompson (1981) y Alfonso (1982), siempre referidos a la brisa de mar.

También Estoque (1962) en su modelo analítico para la brisa de mar, en uno de los casos al introducir un flujo general de 5 m/s saliendo de la costa obtiene una fuerte convergencia sobre tierra a 8 km de distancia de la costa a las 1700 hora local, que coincide con una superficie de discontinuidad térmica.

El efecto que produce el flujo general saliente sobre la brisa de mar se puede extender a la brisa de tierra cuando el flujo general está dirigido desde el mar hacia la tierra. Naturalmente, no podrá ser de la misma intensidad que para la brisa de mar, pero el razonamiento indica que debe cumplirse igualmente. Hsu (1973) encontró en los registros de sus experimentos la existencia del frente de la brisa nocturna en la costa sur de los E.E.U.U. hacia el Golfo de México, mientras que Keen y Lyons (1978) se refieren a ello en el Lago Michigan y Passarelli (1981) lo hace para los Grandes Lagos.

Carnesoltas (1987) planteó la existencia de líneas de convergencia en el flujo de superficie durante la cuarta etapa de la circulación de la brisa, una de ellas sobre el mar al norte de la región occidental de Cuba. Portela (2002) señala entre las causas de ocurrencia del "brisote sucio", la interacción del flujo anticiclónico con el flujo de salida del terral.

Las brisas de mar y tierra de 1ra. y 2da. Especie y sus características sobre pequeños territorios han sido detalladas recientemente por Carnesoltas (2002).

Análisis del proceso

La circulación de brisa de mar y tierra, al ocurrir en la mayoría de los casos en presencia de flujo general a mayor escala con diferentes direcciones, hace que se produzcan con mucha frecuencia brisas frontales, tanto en la de mar durante el día como en la de tierra durante la noche, todo va a depender de la dirección del flujo a mayor escala con respecto a la costa. Pero a pesar de su relativa frecuencia, el frente de la brisa de tierra pasa prácticamente inadvertido, lo que está dado por su débil gradiente horizontal de temperatura y poco alcance en la vertical. Sin embargo, en el análisis riguroso de los registros de los instrumentos meteorológicos y del campo de viento y temperatura en superficie a β - mesoescala, es posible encontrar la presencia de la discontinuidad térmica de la brisa de tierra de 2da. Especie. El proceso pasa a ser de interés práctico cuando se convierte en un factor determinante en la formación de nubosidad y en la ocurrencia de chubascos a lo lar-

go de las líneas costeras, al interactuar con determinadas condiciones del flujo general, como es el caso del llamado "brisote sucio" en la costa norte de Cuba.

La existencia del frente de la brisa de tierra y el papel que tiene en su interacción con el proceso conocido como "brisote sucio" es el objetivo principal en este trabajo. El brisote sucio ocurrido el 13 de noviembre de 2001 se toma como un caso de estudio en el que intervino de manera determinante el frente de la brisa de tierra.

Materiales y métodos

Como un caso de estudio, se tomó la información del período comprendido entre la noche del día 12 y la mañana del 13 de noviembre de 2001, en el cual ocurrieron chubascos de corta duración. La información que se analizó para demostrar la influencia de la brisa de tierra en el desarrollo del brisote sucio fue la siguiente: observaciones trihorarias de superficie desde las 2200 hasta las 0700 hora local de las estaciones de Cayo Hueso (72201), Nueva Gerona (78309), Gúira de Melena (78320), La Fe (78321), Batabanó (78322), Gúines (78323), Punta del Este (78324), Casa Blanca (78325), Bainoa (78340), Santiago de las Vegas (78373), Tapaste (78374), Melena del Sur (78375) y Bauta (78376); mapas trihorarios de superficie de las 2200, 0100, 0400, 0700 y 1000 hora local, el sondeo del viento a las 0700 hora local en La Habana y de temperatura y viento en Cayo Hueso; el anemograma, el higrótermograma y el pluviograma de la estación de Casablanca (78325); mapas sinópticos de superficie correspondientes a las 0100 y 0700 hora local (0600 y 1200 UTC respectivamente); mapas de flujo en 850 Hpa a las 1900 y 0700 hora local; las imágenes horarias del satélite GOES entre las 0145 y las 0745 hora local; imágenes horarias del radar de La Habana entre las 2200 y las 0700 hora local y el registro de la lluvia de la red de estaciones del Instituto de Meteorología.

Discusión de los resultados

En los análisis de temperatura en la superficie a mesoescala a las 2200 hora local se observa una isoterma cerrada de 20 °C en toda la mitad oriental de la provincia de La Habana y la mitad norte de Matanzas. A las 0100 hora local la isoterma de 20 °C se corta con la superficie terrestre de forma casi paralela a la costa norte de la región occidental y de nuevo en los mares al sur de la misma región, con los valores inferiores sobre la porción terrestre. A las 0400 hora local aparece prácticamente la misma configuración pero ya toca la tierra la isoterma de 19 °C, los valores inferiores se mantienen sobre la tierra. Finalmente, a las 0700 hora local, aunque la isoterma de 19 °C se fracciona en el territorio occidental cubano,

sobre las provincias habaneras existe ya una isoterma cerrada de 18 °C y se mantiene una configuración similar a las que ocurrieron durante las horas precedentes de la noche y la madrugada.

El aire enfriado sobre tierra durante la madrugada, que debía provocar la circulación de brisa de tierra en la costa norte, mantuvo un equilibrio entre las componentes del flujo del brisote, como lo muestran las calmas en las estaciones de las provincias habaneras y la mitad norte de la provincia de Matanzas entre las 2200 y las 0700 hora local. A esta última hora sólo hay flujo de salida del SE hacia el mar en la costa norte oriental de la provincia de Pinar del Río (Fig. 1). Se aprecia la línea de convergencia cercana a la costa norte provocada por la obstrucción que el aire frío sobre tierra le hace al flujo que proviene del estrecho de La Florida.

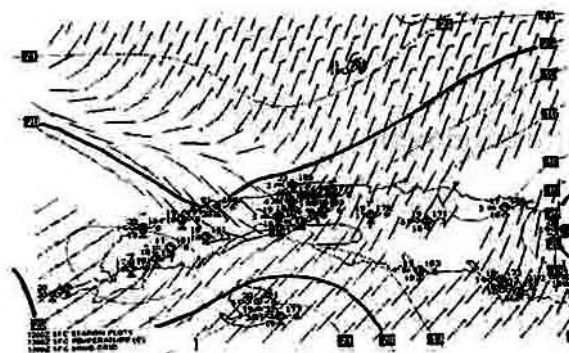


Fig. 1 Análisis a mesoescala de flujo y temperatura en la superficie a las 0700 hora local

El anemograma (Fig. 2) muestra que el viento a las 2330 hora local era del ENE con 15 km/h, siguiéndole calmas o vientos muy débiles del SE hasta las 0045 hora local, momento en que gira con rapidez al NE con 15 Km/h, o sea, 15 minutos antes del comienzo del primer chubasco. A las 0100 hora local era del E con no más de 2 Km/h, aunque llegó hasta 15 Km/h por intervalos hasta las 0300 hora local. Desde esta hora y hasta las 0530 hora local se mantuvo en calma o del SE con velocidades muy bajas (menos de 1 km/h) y a partir de ese momento giró al ENE, 10 minutos antes del inicio del segundo chubasco. A las 0600 hora local se define claramente una dirección NE con aumento brusco de la velocidad que llega hasta los 25 km/h; y finalmente a las 0640 hora local, vuelve al SE muy débil y la calma.

El sondeo del viento con globo piloto de La Habana a las 0700 hora local (Fig. 3), muestra que minutos después de realizarse la observación de superficie, en la que se reportó calma, comenzó un viento de 2.2 km/h del ENE y que tanto la resultante (no mostrada), como la componente v perpendicular a la costa tienen perfiles muy similares, con las mismas irregularidades.

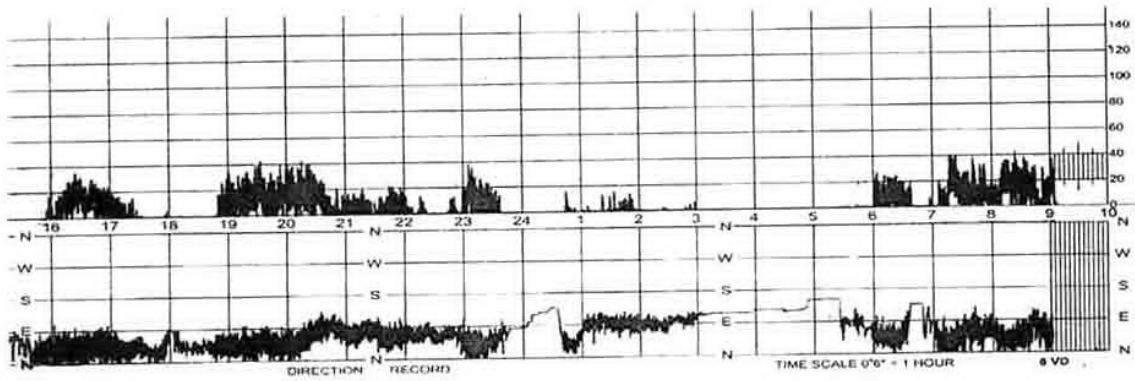


Fig. 2 Anemograma de la estación de La Habana correspondiente a la noche del 12 al 13 de noviembre de 2001. La hora es local.

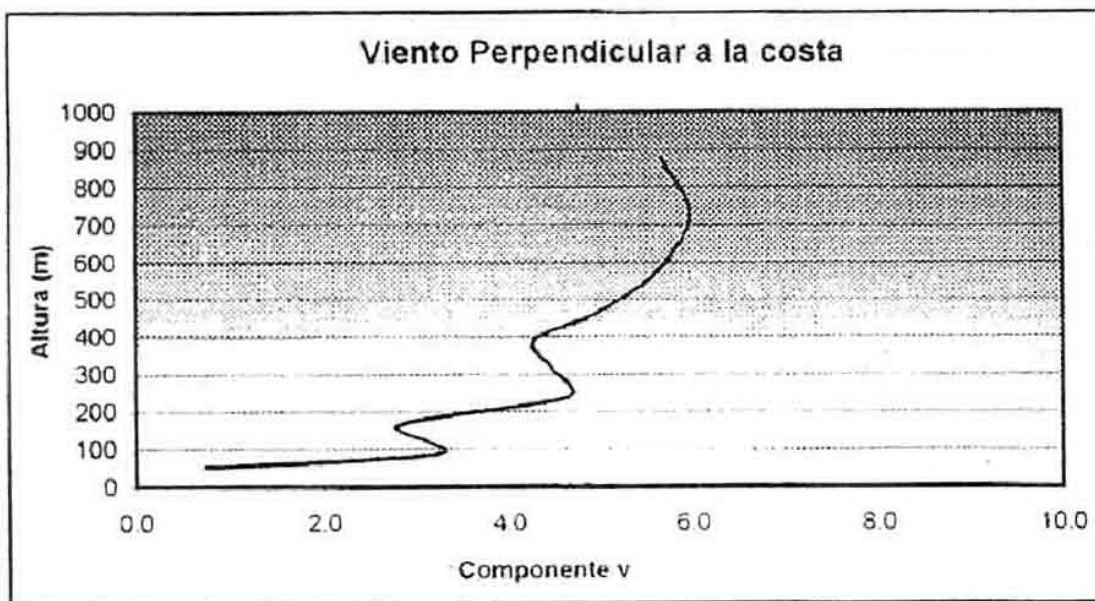


Fig. 3 Perfil del sondeo del viento en La Habana a las 0700 hora local del 13 de noviembre de 2001. La velocidad de la componente v perpendicular a la costa está expresada en metros por segundo.

En el corte vertical (Fig. 4) entre la estación de Cayo Hueso y Punta del Este, atravesando las provincias habaneras (a partir de los datos de superficie y los sondeos de Cayo Hueso y La Habana), se puede inferir la estructura del campo térmico que se describió en superficie en plena concordancia termodinámica con el viento en el primer km de altura a esa hora sobre la región que estamos estudiando. En este corte se puede apreciar el calentamiento del aire sobre el Estrecho de La Florida en contraste con el enfriamiento sobre tierra, la inversión superficial, el fuerte gradiente térmico sobre la franja costera del Norte, la

poca extensión vertical del frente del terral y como las irregularidades del perfil del viento en La Habana son el reflejo de la forma de la superficie del frente.

Ambos perfiles ponen de manifiesto la forma en que la masa de aire proveniente del mar (con todas las direcciones del primer cuadrante), está superando el obstáculo que representa para ella el aire frío atrapado en las capas más cercanas a la superficie. Por su parte la componente u paralela a la costa, (no mostrada) indica que la masa simultáneamente se desliza hacia el Oeste.

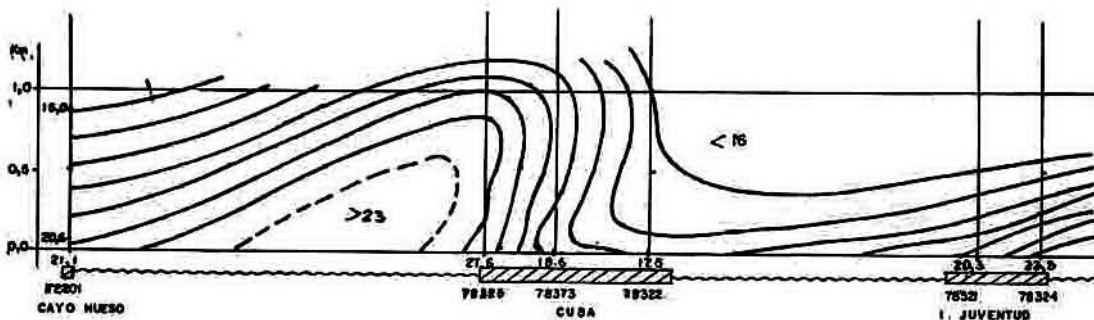


Fig. 4 Corte vertical entre la estación de Cayo Hueso y Punta del Este a las 0700 hora local del 13 de noviembre del 2001.

El análisis de la Humedad Relativa entre las 0230 y las 0630 hora local muestra que aumentó de 92 a 99 %, mientras que la temperatura después de un valor mínimo de 20.7 °C a las 0330 hora local, también aumentó hasta las 0700 hora local (como se puede

apreciar en los gráficos de la Fig 5 contruidos a partir del higrótermograma y del pluviograma), lo que implica que durante ese período hubo un transporte neto de vapor de agua a través del Estrecho de la Florida.

Higrótermograma y Pluviograma
Casa Blanca, 13 Noviembre 2001

Hora Local	Temperatura	H. Relativa	Lluvia
02:00	21.0	95	0.5
02:30	20.9	92	0.5
03:00	20.8	93	0.5
03:30	20.7	94	0.5
04:00	21.0	94	0.5
04:30	21.4	95	0.5
05:00	21.9	97	0.5
05:30	22.4	98	0.5
06:00	22.8	99	3.1
06:30	23.1	99	3.2
07:00	23.2	93	3.2

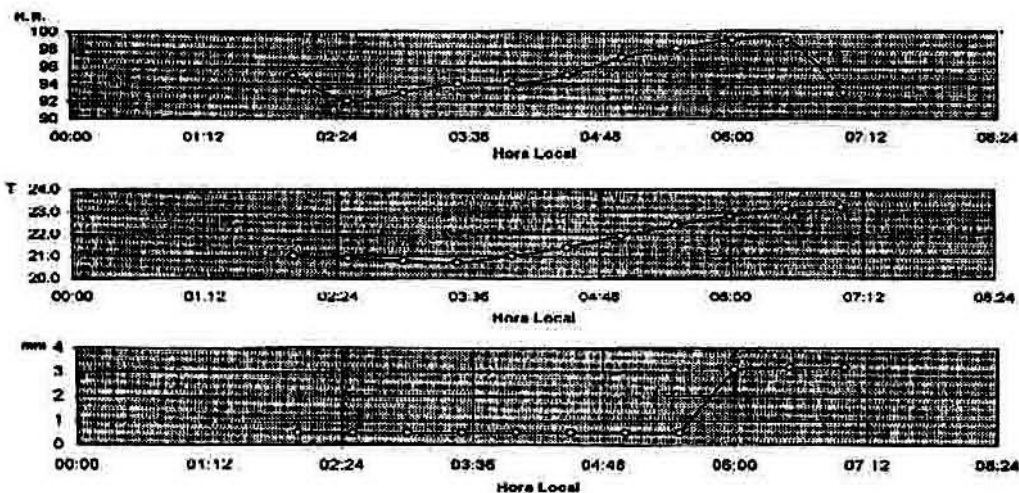


Fig 5 Comportamiento de la Humedad Relativa, la Temperatura del aire y la lluvia en La Habana entre las 0200 y las 0700 hora local del 13 de noviembre de 2001.

En los mapas de superficie de las 0100 y 0700 hora local (Fig. 6), así como en los de flujo de 850 Hpa (Fig.7), puede observarse el movimiento del anticiclón continental hacia el Océano Atlántico y la dirección y la velocidad del flujo general que generó

en los primeros 1500 m de altura, en dirección opuesta a la corriente cálida del Golfo de México que sale por el Estrecho de La Florida en esos momentos y que le aportó el vapor de agua necesario. La Humedad Relativa a las 0100, 0400 y 0700 hora local en

La Habana fue de 87, 91 y 88 %, mientras que en Cayo Hueso a las mismas horas fue de 84, 83 y 70 % respectivamente.

Estaban creadas las condiciones principales a escala sinóptica mencionadas por Portela (2002) para que ocurriera el brisote sucio, pero faltaba el obstáculo sobre la costa en los bajos niveles.

El aire frío sobre tierra mencionado, actuó de obstáculo para el flujo húmedo proveniente del mar, lo que obligó a la masa de aire a elevarse y a que se formara sucesivamente nubosidad sobre la línea costera, al norte de las provincias de Ciudad de La Habana, de La Habana y de Pinar del Río. En la secuencia de imágenes del satélite (no mostrada) puede observarse que la nubosidad baja se mantuvo prácticamente en la misma zona. En realidad las nubes se formaban en el límite norte de la línea de convergencia y se disipaban por su límite sur. En la secuencia animada de imágenes horarias del radar de La Habana, se observa que la nubosidad proveniente del NE se desarrolla en la vertical bruscamente al acercarse a la costa (Fig. 8).

El reporte de las precipitaciones que se produjeron en las últimas 24 horas que terminaron a las 0700 hora local, recoge que para la región occidental sólo hubo precipitaciones en las estaciones meteorológicas de La Habana, Baintoa y Santiago de las Vegas, o sea en la mitad norte de la provincia. El pluviograma de La Habana (Fig. 9) registró 0,3 mm entre las 0600 y las 0110 UTC y luego 2.6 mm entre las 0540 y las 0630 UTC (de este último período cayeron 1,8 mm en los primeros 5 minutos) lo que demuestra que fueron chubascos ligeros de corta duración y luego una lluvia ligera en los restantes 45 minutos.

Por su parte, las estaciones de las provincias de La Habana y Ciudad de La Habana reportaron cielo cubierto y nubes de tipo Cu congestus y Sc, chubascos en tiempo presente en la estación de La Habana, mientras que las de la costa sur reportaban neblina al final del período.

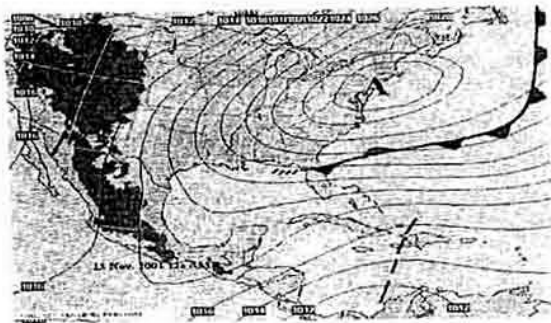


Fig. 6 Mapa sinóptico de superficie a las 1200 UTC el 13 de noviembre de 2001.

La oscilación de la línea de convergencia sobre la costa norte, mencionada por Portela (2002) como una asíntota de convergencia, estuvo determinada por las variaciones del gradiente horizontal de presión del anticiclón y el grado de enfriamiento nocturno de la tierra con respecto al aire sobre el mar durante la madrugada; Esto explica el giro de la veleta en la estación de La Habana en tres ocasiones hacia el 2do. cuadrante con velocidades muy débiles. Como se conoce el brisote sucio se produce por lo general después de varios días con advección fría sobre el occidente del país, lo que ayudó, junto con el enfriamiento radiativo terrestre, a que el aire sobre tierra se haya enfriado hasta el grado que muestran los datos tomados. En la costa sur no se produjo línea de convergencia, puesto que sobre ella la dirección del terral toma componente del primer cuadrante (brisa de tierra de primera especie), coincidiendo con el flujo general; no hay frente del terral ni aporte de humedad para esta costa.

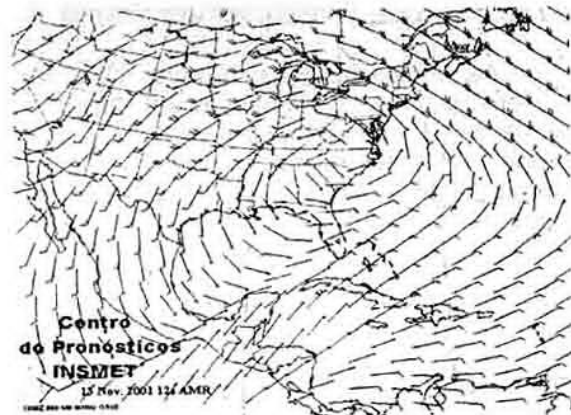


Fig. 7 Mapa de flujo a 850 Hpa a las 0700 UTC el día 13 de noviembre de 2001



Fig.8 Imagen del radar de La Habana el 13 de noviembre de 2001 a las 0100 hora local.

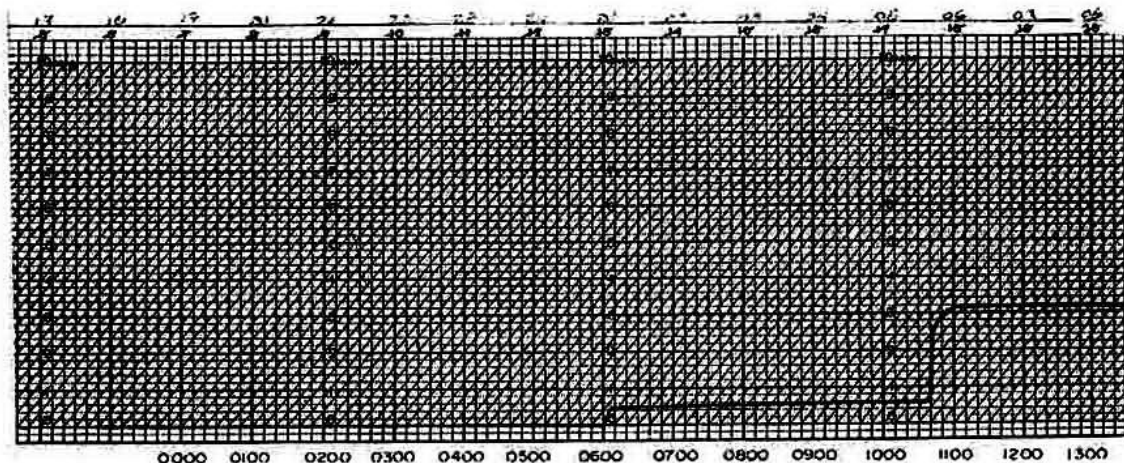


Fig. 9 Pluviograma de Casa Blanca entre el 12 y el 13 de noviembre de 2001. La hora es UTC

Conclusiones y recomendaciones

Un flujo general durante la noche dirigido del mar a la tierra, genera en la circulación del terral, el mismo efecto que hace un flujo general durante el día dirigido de tierra hacia el mar, a la brisa de mar. Este efecto consiste en que se produzca el frente de la brisa de tierra, o sea, brisa de tierra de 2da. Especie.

Dado que la circulación de la brisa de mar y tierra se desarrolla por lo general en presencia de flujos de mayor escala, el terral de 2da. Especie es un fenómeno que ocurre con bastante frecuencia, pero casi inadvertido dadas las pequeñas magnitudes de sus parámetros; sin embargo, cuando ocurre bajo determinadas condiciones meteorológicas de mayor escala, puede provocar situaciones locales de interés, como es el caso particular de la costa norte de la región occidental de Cuba durante el período poco lluvioso.

La ocurrencia de un terral de 2da. Especie en la costa norte de la región occidental de Cuba, simultáneamente al flujo del primer cuadrante del anticiclón continental y al aporte de vapor de agua de la corriente del Golfo de México en el Estrecho de La Florida, son las principales causas de que durante la noche y primeras horas de la mañana, se genere nubosidad y chubascos solamente sobre la línea costera, o sea, a lo largo de la convergencia provocada en superficie. Esta situación meteorológica de carácter local se conoce como brisote sucio.

Durante la ocurrencia de brisote sucio, el frente de la brisa de tierra no avanza con rapidez hacia el mar, sino que el brisote lo mantiene casi en equilibrio, oscilando alrededor de la línea costera.

Es posible suponer que en otras regiones del planeta ocurran situaciones locales semejantes a las descritas en este trabajo y que deben ser objeto de estudio de manera similar con más grado de detalle.

Agradecimientos

Deseo expresar mi agradecimiento a los Doctores en Ciencias Miguel A. Portela y Ramón Pérez, al MSc. Armando Caymares y a la Lic Lázara Díaz por la revisión del trabajo y las acertadas sugerencias. Al Lic. Reinaldo Casals y Bárbara Pérez por la preparación de las figuras y a Gisela Andrade y Rosa Delgado por las búsquedas bibliográficas.

Referencias

- Alfonso, A., 1982: Discusión en torno a la Línea de Tormentas del 2 de Enero de 1978 en Varadero. Ciencias de la Tierra y el Espacio, No. 4, Academia de Ciencias de Cuba.
- Bornstein, R. and Thompson, W., 1981: Effects of Frictionally Retarded Sea Breeze and Synoptic Frontal Passages on Sulfur Dioxide Concentrations in New York City. J. A. M. Vol. 20, No. 8, August.
- Carnesoltas, M., 1987: La Circulación Local de Brisa sobre Cuba. Tesis en opción al Grado de Doctor en Ciencias. Academia de Ciencias de Cuba. Inédito. Depositado en la biblioteca del INSMET.
- Carnesoltas, M. 2002: La Brisa de Mar y Tierra. Conceptos fundamentales. Revista Cubana de Meteorología. Vol. 9, Nº 1 43 - 72.
- Defant, F., 1951: Local winds. Compendium of Meteorology, Amer. Met. Soc., 655 - 672.

Donn, W. L., Milic P. and Brillant R., 1956: Gravity Waves and the Tropical Sea Breeze. J. Meteor., 13, 356 - 361.

Estoque, M. A., 1962: The sea - breeze as function of the prevailing synoptic situation. J. Atm. Sci. Vol. 19, pp. 244 - 250.

Hsu, Shin-Ang, 1973: Dynamics of the Sea Breeze in the Atmospheric Layer: A case Study of the Free Convection Regime. M. W. R. Vol. 101, 3, 183 - 194.

Keen, C. and W. Lyons, 1978: Lake / Land Breeze Circulations on the Western Shore of Lake Michigan. J.App. Meteor., Vol. 17, pp. 1843 - 1855.

Koschmieder, H., 1941: Danziger Seewindstudien. Forsch. Arl. Meteor. Inst. Danzig, 8,1 - 44; 10, 1-39.

Leopold, Luna B., 1949: The interaction of trade wind and sea breeze, Hawaii. J. Meteor., Vol. 6, pp. 312 - 320.

Passarelli, R., 1981: The Role of the Winter Land Breeze in the Formation of Great Lake Snow Storms. Bull. Amer. Meteor. Soc., Vol. 62, No.4, pp. 482 - 492.

Portela S., M. 2002: Pronóstico de la ocurrencia de "brisote sucio" en Cuba. Revista Cubana de Meteorología.Vol. 9,Nº 2, pp. 49.

Warner, T. T., R. Anthes and A McNab, 1978: Numerical Simulation with Three - Dimensional Mesoscale Model. M. W. R. Vol. 106, No. 8, pp. 1079 - 1099.

Wexler, R., 1946: Theory and observations of land and sea Breezes. Bull. Am. Meteor. Soc. 27, 272 - 287.

Abstract

At the present paper is exposed the evidence of a land breeze front, a rarely mentioned process not sufficiently studied in specialized publications. Generally the sea breeze-land breeze system occurs simultaneously with greater scale flows, for that reason, it is frequently encountered although not in a perceptible way, a second class land breeze. Nevertheless, under specific conditions this land breeze front is related with significant weather situations, as the so called "Brisote sucio" on northern coast of Cuba, during the not rainy period of the year. Here is included, as a case study, the analysis of the synoptic pattern associated with the case occurred on November 13, 2001.

Palabras clave:
brisa, frente de brisa de tierra, brisa frontal