

CARACTERIZACIÓN DE LA BRISA CANTÁBRICA

José Luis ARTECHE GARCIA; M^a Pilar SANZ MORAL y
Francisco Javier ORTIZ BERENGUER

Centro Meteorológico Territorial en Cantabria y Asturias, Instituto Nacional de Meteorología

RESUMEN

Las brisas constituyen un elemento fundamental del clima en las zonas costeras. En el desencadenamiento de las mismas parece demostrado que el viento de retorno hacia la mar es un factor de superior importancia a la de otros, generalmente de tipo térmico. Se han estudiado regímenes de brisas en la costa cantábrica de Santander (España) con casos de cinco años, entre mayo y setiembre, analizando los datos de superficie y aerológicos. Primeramente se muestran los criterios de selección de casos a efectos de discernir claramente entre un día de brisa genuina de muchos otros que aparentemente lo son, por la coincidencia en la dirección dominante del viento, pero que tan solo muestran una oscilación diaria en la fuerza -de forma similar a la brisa- motivada por un idéntico ciclo diario en la intensidad de la turbulencia en capas bajas de la atmósfera.

Palabras clave: Brisa, vientos costeros, Mar Cantábrico, turbulencia.

ABSTRACT

Breezes are a main element of climate in coastal areas. Has been demonstrated than the role of the upper wind to offshore is more important than others thermic factors. Regimenes of breeze have been studied along the coast of Santander (north Spain) over five years cases, from may to september, analyzing low and high level data. First, the selection criteria are showed in the way to identify a genuine breeze day among others that appear to be caused by the wind's main direction, but they only show a daily oscillation in strength –similar to the breeze– caused by an identic daily cycle of the turbulence intensity in the low atmospheric layers.

Key words: Breeze, coastal winds, Cantábrico Sea, turbulence

1. INTRODUCCIÓN

A pesar de que existen trabajos (REDAÑO *et al.*, 1990) sobre brisas en ausencia de viento de gradiente, cuando se analizan los datos aerológicos se comprueba que casi siempre existe dicho viento. Se han etiquetado las situaciones de brisa cuando ésta sigue un patrón de comportamiento según el cual amaina claramente al final del día, saliéndose del primer cuadrante y pasando de madrugada en algún momento por la dirección del segundo cuadrante (Fig. 1).

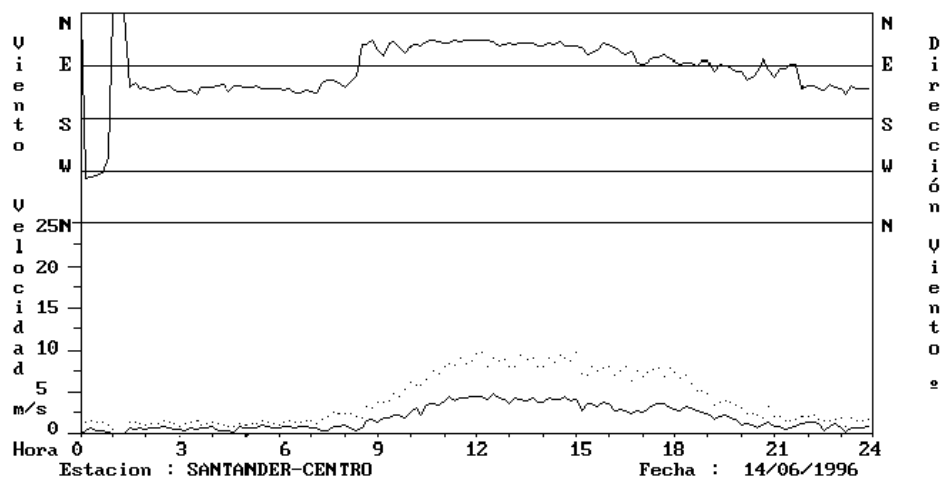


Fig. 1. Comportamiento de la dirección y la fuerza media (rachas con puntos) de la brisa

2. CRITERIOS PARA DEFINIR EL ESPESOR DEL ESTRATO DE BRISA

Debido a la génesis variable de la brisa, se han empleado tres criterios para determinar dicho espesor, en función de que sobre el mismo hubiere: presencia de una inversión térmica, giro del viento y presencia de un mínimo de viento por encima de dicho estrato. Se ha podido observar coincidencia de dos criterios a lo sumo, nunca de los tres. En todas las situaciones estudiadas se comprueba el giro del viento, según ascendemos desde el suelo, al segundo o cuarto cuadrante y de modo continuo. En algunos casos viene acompañado ello por la presencia de una inversión o de un viento mínimo.

Las rachas máximas de brisa se producen entre las 13 y las 15 horas UTC, presentando el doble de probabilidad de producirse con la dirección 80° más que en la dirección dominante a esas horas, la cual está en torno a los 50° . No se producen rachas fuera del intervalo $15^\circ - 115^\circ$.

3. SONDEO VERTICAL MEDIO DEL VIENTO EN SITUACIONES DE BRISAS MÁS FUERTES

En la figura 2 se muestra el perfil vertical medio para situaciones de buenas brisas. Observando dicha gráfica se puede concluir que no es hasta, aproximadamente, los 220 m que el viento pasa a ser del segundo cuadrante, es decir, el viento ya no penetra del mar sino que proviene de tierra, ocurriendo así hasta los 400 m, con mayor carácter “terral” cada vez y según ascendemos hasta este último nivel.

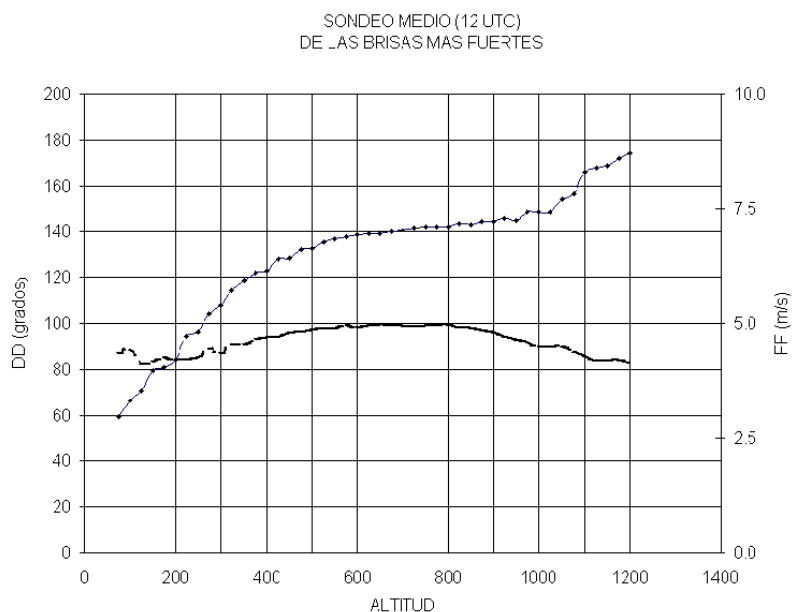
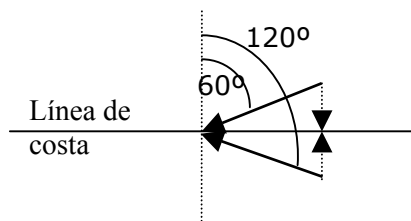


Fig. 2. Sondeo vertical medio de la brisa cantábrica

A esa última altitud la componente de retorno perpendicular a la costa es equivalente al viento sobre tierra o mar en niveles bajos, pero de sentido opuesto. Por encima de dicho nivel esa componente es aún mayor.



En la figura 3 se muestra la evolución a lo largo del día de la dirección de la brisa. Se observa una dirección predominante (aprox. 125°), a la vista del número de casos, entre las 5 y las 6 horas UTC de la mañana. Hacia las 10 horas hay un corte en el que la brisa salta de forma discontinua hacia el primer cuadrante, con una dirección entre 50° y 60° , dirección en la que se mantiene casi unas siete horas, si bien con una ligera tendencia a abatirse más hacia la dirección Este. Posteriormente, hacia las 18 horas, se encuentra en la dirección de 75° , donde permanece del orden de una a dos horas para ir cayendo, aproximadamente a las 21 horas, con salto discontinuo -al igual que ocurría por la mañana- hacia un viento terral de unos 117° , buscando los 125° de la próxima madrugada siempre y cuando las condiciones hagan que en la siguiente jornada se desarrollen brisas.

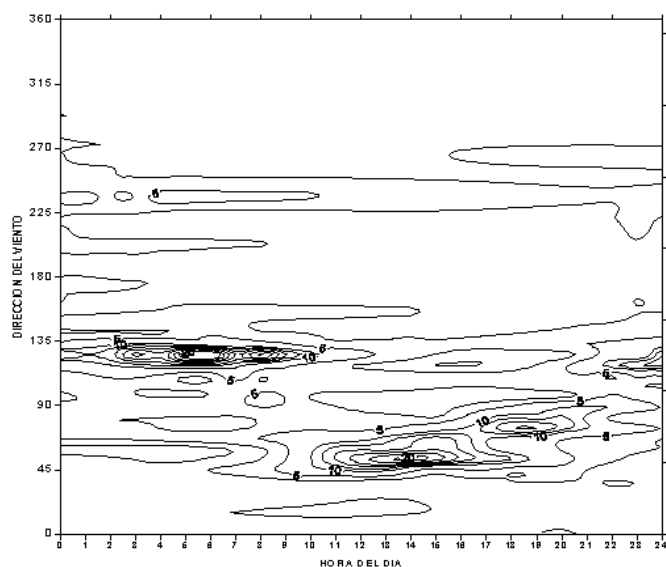
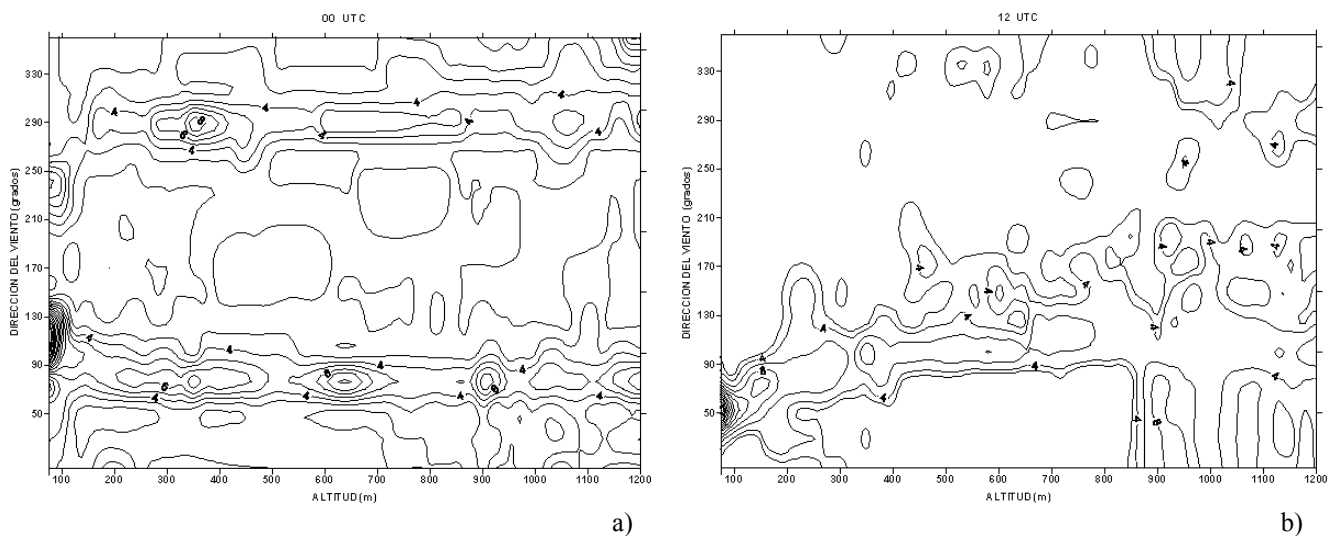


Fig. 3. Frecuencia de casos según la hora del día y la dirección para las brisas

En la figura 4 se muestra el perfil de viento a diferentes alturas, obtenidos de los datos de radiosondeos de 00 (Fig. 4a) y 12 UTC (Fig. 4b).



Figs. 4a y 4b. Distribución de frecuencias según la dirección del viento y la altitud en días de brisa a las 00 y 12 horas UTC

4. LA BRISA MÁXIMA Y LA TEMPERATURA MÁXIMA EN TIERRA

En todos los meses desde mayo a septiembre -salvo en el mes de julio, en que va retrasada- la temperatura máxima del aire se adelanta en un periodo de entre cuarenta y cinco minutos y una hora al momento de la máxima fuerza de la brisa. En la figura 5 se representan las diferencias entre la temperatura del aire en los días de brisa y la temperatura media SST del agua de la mar (IEO,

Santander) a lo largo de las distintas horas del día. Se muestran cuatro puntos singulares a otras tantas horas, que son los correspondientes a la hora de la temperatura mínima promedio de cada mes, las de inicio y fin de la brisa y la correspondiente a la temperatura máxima diaria.

Tabla 1. Estadísticos mensuales en días de brisa (SST, temperatura superficial del agua de la mar, TMAX, TMIN, temperaturas máxima y mínima del aire, GRAD, gradiente de calentamiento)

	SST	TMAX	TMIN	TMAX - SST	TMIN - SST	Hora TMIN	Hora TMAX	Hora salida brisa	Hora puesta brisa	Hora racha	GRAD
MAY	14,4	20,2	12,3	5,8	-2,1	4,77	13,99	9,12	21,08	14,77	0,54
JUN	17,7	21,0	14,3	3,3	-3,4	5,28	13,30	8,84	21,7	14,10	0,33
JUL	20,2	22,5	15,9	2,3	-4,3	5,14	14,47	8,96	21,66	13,79	0,19
AGO	18,4	24,1	18,0	5,7	-0,4	5,20	13,16	9,07	21,28	14,36	0,5
SET	17,2	22,0	15,7	4,8	-1,5	6,28	13,36	9,7	21,36	14,28	0,66

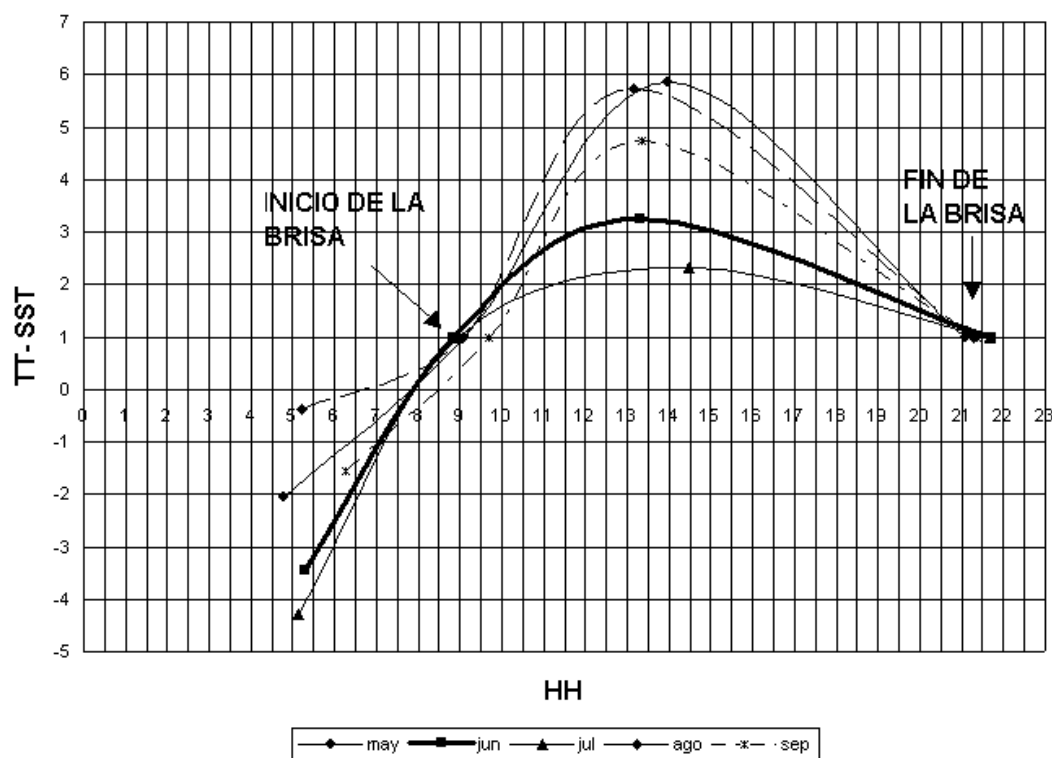


Fig. 5. Evolución del contraste térmico tierra-mar a lo largo del día en situaciones de brisa

Se observan diferentes apuntamientos (TTMAX-SST) de las curvas, siendo máximo en los meses de mayo, agosto y septiembre, meses en los que el máximo de la brisa aparece más tarde con respecto a la hora de la temperatura máxima. La hora a la que se produce la máxima fuerza de la brisa parece que tiene que ver con el máximo calentamiento, pero ¿cómo? En el mes de julio aparece tan pronto dicho máximo de viento que lo hace en promedio, a diferencia de los otros meses, antes de la hora de la temperatura máxima. Si utilizamos un “gradiente de calentamiento”

cerca del máximo de dichas curvas, expresado en $\text{grados}\cdot\text{h}^{-1}$, y lo relacionamos con el tiempo T de diferencia entre la hora de máxima brisa y la de la temperatura máxima, se obtiene una recta de regresión ($R^2=0,6$) tal como:

$$T = -0.77 + 3.1 \cdot \text{GRAD}$$

Si la temperatura máxima se alcanza de forma “rápida”, que no significa necesariamente “muy pronto”, se necesitaría más tiempo para que se produzca la racha máxima de la brisa.

5. LA BRISA MÁXIMA Y LA ESTABILIDAD. EL VIENTO SINÓPTICO EN ALTURA O VIENTO DEL GRADIENTE

En la figura 6 se muestran los vientos existentes a unos 600 m de altitud, de forma separada cuando son del SE del caso en que son del ESE, junto con las rachas máximas de la brisa y el gradiente térmico del aire ($^{\circ}\text{C} / 100 \text{ m}$) dentro del estrato de aire en el que tiene lugar el desarrollo de la brisa. No parece haberse encontrado una correlación clara de la fuerza del viento a una cierta altitud sobre el suelo y/o el gradiente en capas bajas (indicador del grado de estabilidad atmosférico) con la fuerza máxima de la brisa. Lo que si parece algo más claro es que contemplar estos dos factores conjuntamente mejora la relación con dicha racha que si se hace de forma separada.

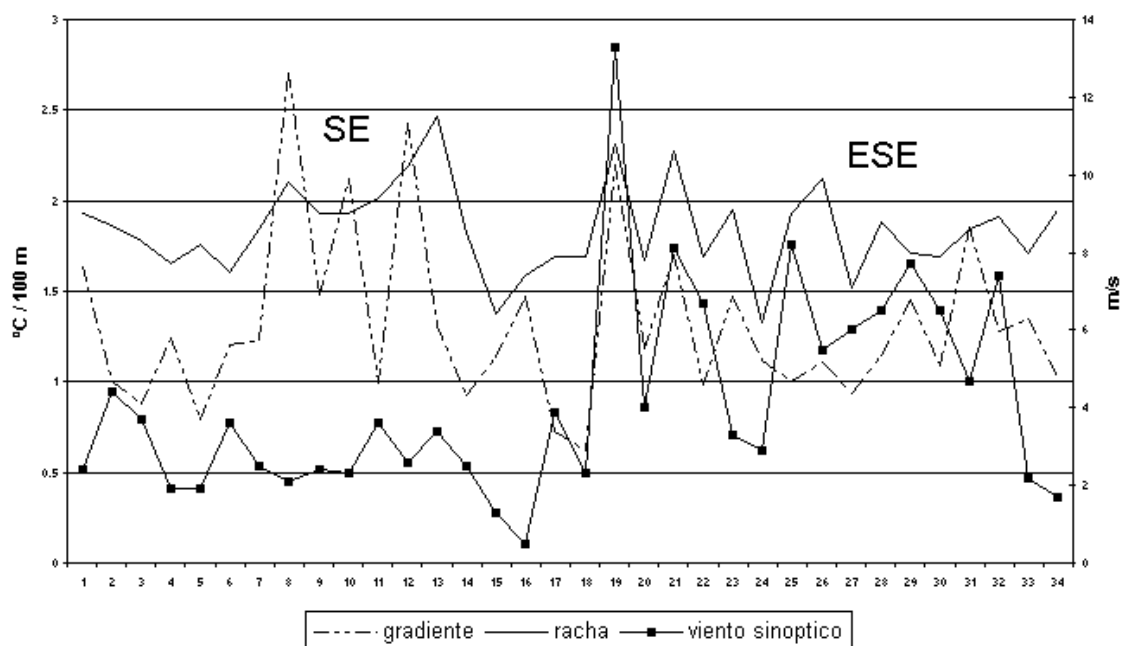


Fig. 6. Viento de gradiente a 600 m de altitud, rachas de brisa y gradiente vertical del aire

6. ANÁLISIS DE LOS DATOS EN ALTURA

La aparición de casos en el segundo cuadrante ($90^{\circ} \leq ddd \leq 180^{\circ}$) no se da hasta el nivel de 200 m. Este mismo cuadrante ya domina en el nivel de 300 m. En el mismo se aprecian igualmente

unos pocos casos con vientos del tercer cuadrante ($180^\circ \leq ddd \leq 270^\circ$). Este último cuadrante es poco representativo en todos los niveles salvo un poco en el de 800 m.

Los vientos del cuarto cuadrante (sector NW) aparecen de modo rutinario, y de forma casi idéntica, a partir de los 400 m.

Es de destacar que a partir de los 500 m prácticamente no se presenta el viento del primer cuadrante ($ddd \leq 90^\circ$ $ddd < 90^\circ$) y el hecho de que a partir de ese nivel domina claramente el segundo cuadrante. En el espacio 300-500 m, ambos cuadrantes (primero y segundo) se reparten las frecuencias de casos.

6.1. ESE

La altura de desarrollo de la brisa, o de los vientos del primer cuadrante, es un poco mayor en este tipo de situaciones: en la mayor parte de los casos no es menor de 200 m sobre el nivel del mar. Se extiende en algunas situaciones hasta los 300 o 350 m.

El viento medio en el estrato más bajo es algo superior al de la brisa “genuina”: $3,9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ frente a $2,76 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Parece obvio que siempre existe viento de gradiente. Tan solo en unos pocos casos se observa, entre los 300 y 700 m, una zona de calma. Suele ocurrir esto último, y así se observa en las situaciones estudiadas, en las que el viento ha girado del primer al tercer cuadrante conforme se sube en altitud, dejando la encalmada -de unas pocas decenas de metros- en el medio.

Con este ligero viento de gradiente no se tiene “teóricamente” una brisa. Tan solo hay un viento que rola “con el sol” para ponerse paralelo a la costa desde por la mañana. De cualquier modo se le ve comportarse como si de una brisa genuina se tratara.

En el comportamiento del viento en función de la altitud se observa que en un 78 % de los casos aquél crece en su fuerza conforme se asciende. Tan solo en un 11 % de los casos disminuye con la altura, para luego crecer y en otro 11 % de los casos disminuye claramente con la altura.

El viento medio en el nivel de 600 m es de unos $6,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, con un valor de $3,56 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ de promedio al nivel de arrancada del radiosondeo (77 m), representando esta disminución de su fuerza un 54,8%.

6.2. SE

Esta es la dirección del viento de “gradiente” para las brisas genuinas. A unos 600 m de altitud los vientos son de esa dirección y con unos $2,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ de fuerza promedio (a observar que cuando es del ESE, como se menciona en el apartado anterior, la fuerza del viento es mayor), siendo dicha fuerza de unos $3,32 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ al nivel de arrancada cerca del suelo.

En el comportamiento del viento con la altura se ha comprobado que en un 82% de los casos el viento disminuye con la misma para luego crecer. En un 12 % de los casos disminuye claramente conforme se asciende y en tan solo un 6 % de las situaciones crece la fuerza del viento según se va

ascendiendo en la vertical. El viento que vuelve a crecer en niveles superiores es del segundo cuadrante.

La zona de viento más flojo constituye la zona de transición de la brisa al SE. Cuando aquella no se observa en el perfil de viento es porque, posiblemente, esté camuflada por la propia brisa.

6.3. NW

El viento en el estrato más bajo presenta una fuerza promedio de $1,44 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Conforme se va subiendo en altitud, el viento gira “contra el sol” para ser del cuarto cuadrante en las capas superiores. En dos casos se ha encontrado que continúa girando, conforme se asciende, para situarse del SW en capas más altas.

En todos los casos la fuerza del viento disminuye desde los primeros niveles junto al suelo para pasar por una zona de mínimo (normalmente cuando se da la transición del primer al segundo cuadrante) y volver luego a crecer con la altura.

En las figuras 7a y 7b se muestran dos sectores o direcciones de vientos dominantes, de entre todos los casos estudiados, por encima de la capa o estrato de brisa: SE, ESE.

Cada caso planteado se representa por el espesor de dicho estrato y por el viento promedio de brisa en el mismo. Los valores numéricos constituyen las rachas máximas diarias de la brisa en superficie (no se representan todos sino unos pocos). Para el resto, en grupos, se indica el valor medio de dichas rachas.

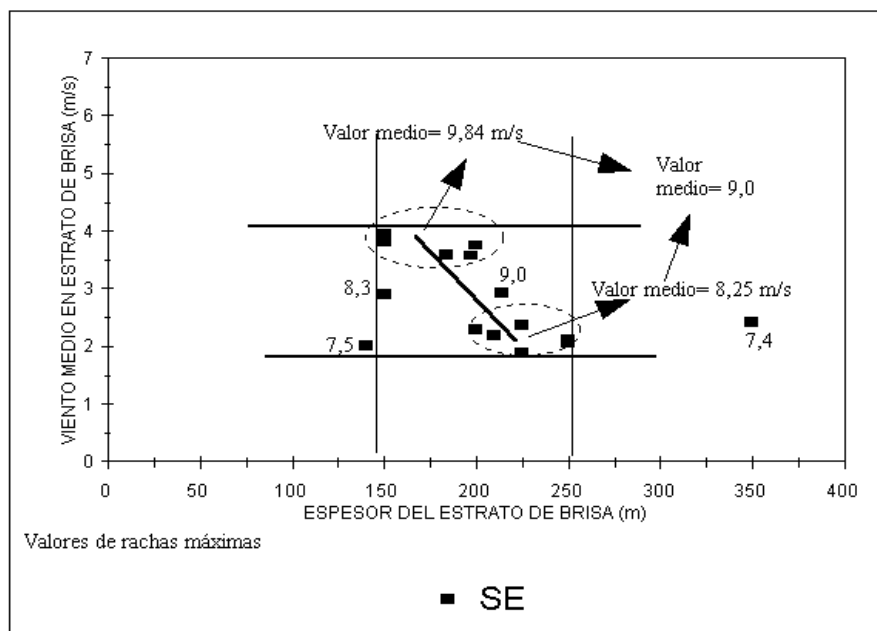


Fig. 7a. Representación de viento medio en estrato de brisa con viento superior del SE

El cuadrante SE es el más compacto. Si el valor central o promedio pudiera situarse en el centro de la recta (coincide casi con un valor aislado de $9,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ de racha) se correspondería con un estrato de entre 180 a 190 m de espesor y un viento medio dentro de dicho estrato de unos $3,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Los casos son 15.

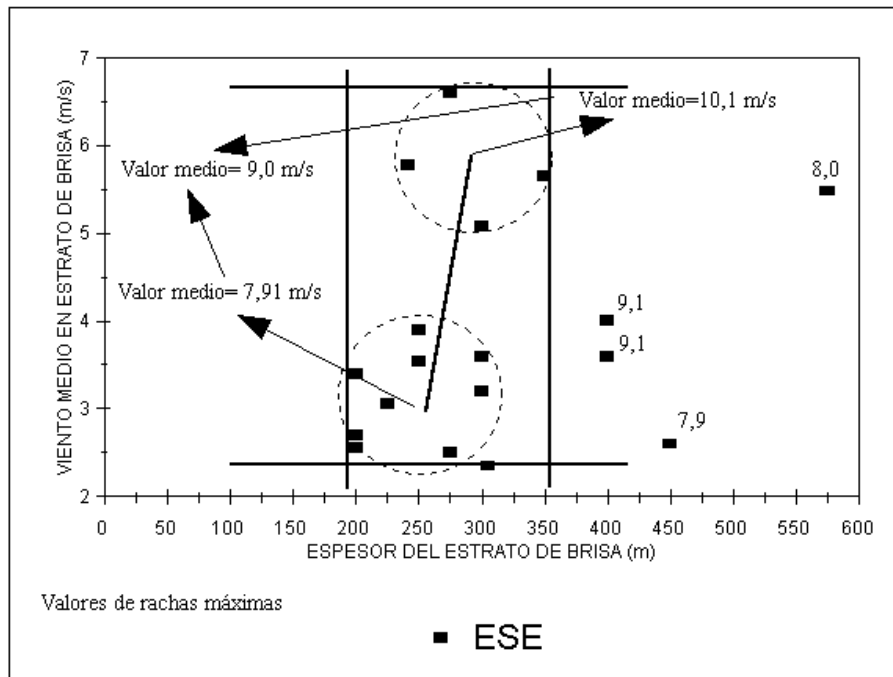


Fig. 7b. Representación de viento medio en estrato de brisa con viento superior del ESE

El cuadrante ESE presenta algo más de dispersión. Los casos agrupados en el estrato dominante son 14. El valor promedio, $10,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, situado en el punto central de la recta, correspondería a un viento medio de unos $4,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ y un espesor de unos 275 m.

Si promediamos para estos dos cuadrantes, que representan el mayor número de situaciones, se obtendría un estrato medio de 225 m.

Los otros dos cuadrantes, NW y SSW, presentan de particular que tanto las rachas como los vientos medios en el estrato de brisa son inferiores. Dichos estratos son, a su vez, tales que no sobrepasan casi los 200 m. Si estos valores, en un número inferior de casos que en el de las situaciones arriba estudiadas, se promedian con los 225 m anteriores nos situaríamos en los 220 m como altura máxima de desarrollo de la brisa, de los que se habla cuando estudiamos el radiosondeo medio (Fig. 2) para el conjunto de todas las situaciones estudiadas. Este escaso espesor en el que se desenvuelven las brisas hace que su manifestación tierra adentro sea cada vez menor según nos vamos adentrando en una orografía intrincada como es la cantábrica.

7. CONCLUSIONES

Se comprueba la ocurrencia de un régimen de brisas cuando, dentro de un esquema de circulación en dos dimensiones, en un circuito perpendicular a la costa, dicha brisa es alimentada por un viento de retorno hacia la mar y que, en nuestra costa, proviene del segundo cuadrante a un cierto nivel sobre el terreno. Este viento es producido por la configuración meteorológica reinante en la escala sinóptica. Parece ser éste el factor al que el hecho de ocurrencia, o no ocurrencia, de la brisa es más sensible, más que la temperatura máxima del aire, la temperatura de la superficie de la mar o la diferencia entre ambas.

8. REFERENCIAS

- ATKINSON, B.W. (1981). "Meso-scale atmospheric circulations".
- BRUNED, E.; JIMENEZ, M.C. y TERRADELLAS, E. "Vientos predominantes en Barcelona".
- GONZÁLEZ MARQUEZ, J.; GUIJARRO PASTOR J.A. y JANSÁ CLAR A. (1998). Caracterización de la brisa en Mallorca. En: *9ª Asamblea española de Geodesia y Geofísica*.
- HOUGHTON, D. (1989). "Estrategia del viento".
- LOPEZ CARMONA, M.P. "Regímenes de viento de primavera en la bahía de Cádiz". INM.
- NEUMAN, J. (1977). "On the rotation rate of the direction of sea and land breezes". *Journal of Atmospheric Sciences*, dec., pp. 1913-1917.
- REDAÑO, A.; CRUZ, J. y LORENTE J. (1991). "Main features of the sea-breeze in Barcelona". *Meteorol. Atmos. Phys.*, 46, pp. 175-179.
- STALEY, D.O. (1989). "The surface sea breeze: applicability of Haurwitz-Type Theory". *Journal of Applied Meteorology*, vol. 28, 2, pp. 137-145.