

## **LAS BRISAS DURANTE ALGUNOS MESES DE PRIMAVERA Y VERANO EN EL NOROESTE DEL GOLFO DE CALIFORNIA**

### **BREEZES DURING SOME MONTHS OF SPRING AND SUMMER IN THE NORTHWEST OF THE GULF OF CALIFORNIA**

Oscar E. Delgado-González<sup>1</sup>  
Francisco J. Ocampo-Torres<sup>2</sup>  
Sergio Larios-Castillo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Investigaciones Oceanológicas  
Universidad Autónoma de Baja California  
Km 103 carretera Tijuana-Ensenada  
Ensenada, B.C. México

<sup>2</sup> Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada  
Km 107, carretera Tijuana-Ensenada  
Ensenada, Baja California, México.

*Recibido en junio de 1994; aceptado en agosto de 1994*

#### **RESUMEN**

Se describen y analizan las características del viento medido en San Felipe, B.C., durante algunos meses del verano de 1984 y la primavera de 1987. Se demuestra la importancia relativa del sistema de brisas con respecto al campo sinóptico, especialmente durante el verano. La representación hodográfica mensual en el dominio del tiempo permite estudiar el sistema de brisas, proporciona información de la dirección y rapidez promedio del viento a cada hora del día y presenta los eventos estacionales. Se representan los días típicos de algunos meses, lo que constituye una de las primeras contribuciones para describir el fenómeno en esta región. En el dominio de la frecuencia, los espectros rotacionales permiten identificar que, durante la jornada de 1984, la banda diurna explica un 57% de la energía espectral total, mientras que, durante la de 1987, las bandas diurna y sinóptica representan el 35 y 31%, respectivamente. Los eventos sinópticos de cada jornada también pueden ser observados en las series de tiempo filtradas; se demuestra que, cuando tienen vientos de rapidez mayor de 5 m/s que persisten en dirección más de un día, interrumpen el sistema de brisas haciendo desaparecer la brisa terrestre. Los dos primeros meses de primavera en la jornada de 1987 aún reflejan las condiciones descritas como de invierno por diversos autores, lo que sugiere que la etapa de transición se reduce sólo a los meses de mayo y junio, de acuerdo con las observaciones de este estudio.

*Palabras clave:* brisas, viento, hodógrafos, San Felipe, golfo de California.

#### **ABSTRACT**

Surface wind data measured in San Felipe, B.C., during some months in the summer of 1984 and spring of 1987 are analyzed and described. The relative importance of the breeze system in relation to the synoptic field is established, specially during the summer. Monthly hodographic representation in the time domain permits the study of the breeze system, provides information on the average wind direction and speed for each hour of the day, and presents seasonal events. Typical days from some of the months are represented, which constitute one of the first contributions to describe the phenomenon in this region. The rotary spectra in the frequency domain permit us to state that during the 1984

period of measurement, the diurnal band explains 57% of the total spectral energy, while during 1987, the diurnal and synoptic bands explain 35 and 31%, respectively. The synoptic events in each period of measurement can also be observed in the filtered time series. They demonstrate that when winds stronger than 5 m/s are present and persist in direction longer than one day, the breeze system is interrupted making the land breeze disappear. The first two months of the 1987 spring period of measurement still reflect winter conditions as described by several authors. This study suggests that the transition period is reduced to May and June only.

*Key words:* breeze, wind, hodographs, San Felipe, Gulf of California.

## INTRODUCCION

El campo de vientos en regiones costeras de latitudes medias ha sido motivo de varios estudios (Fosberg y Schroeder, 1966; Yoshikado, 1981; Pavia y Reyes, 1983; Reyes y Parés, 1983, entre otros) que demuestran la existencia de las brisas. Sin embargo, las brisas de la región del norte del golfo de California no han sido suficientemente estudiadas, a pesar de su importancia como campo de vientos locales. Es de interés estudiarlas por su influencia sobre el campo de oleaje local y su relación con la generación de corrientes superficiales, fenómenos que representan un impacto potencial en los procesos de intercambio de gases y energía, ambos decisivos para definir los cambios en el clima global.

El sistema de brisas a lo largo de las costas del golfo de California presenta vientos normales a las costas y, en algunos casos, refleja efectos locales (Badan-Dangon *et al.*, 1991). Los vientos asociados con las brisas en esta región tienen su máxima rapidez durante las horas del mediodía, cuando soplan de mar a tierra, brisa marina, y su mínima intensidad en las primeras horas de la madrugada, cuando soplan en sentido opuesto, brisa terrestre (Roden, 1964).

El campo de vientos en la parte norte del golfo de California, además del sistema de brisas, presenta normalmente eventos de escalas sinópticas que se manifiestan como vientos persistentes con duración de varios días (dos a cinco), con alta coherencia a lo largo y ancho del golfo y un marcado comportamiento monzónico (vientos del norte durante el invierno y del sur durante el verano). Sin embargo, en primavera y otoño, los vientos asociados con estos eventos presentan alta variabilidad, por lo que a estas

## INTRODUCTION

The wind field in coastal regions of mid-latitudes has been the subject of many studies (Fosberg and Schroeder, 1966; Yoshikado, 1981; Pavia and Reyes, 1983; Reyes and Parés, 1983, among others) that demonstrate the existence of breezes. However, the breezes in the northern region of the Gulf of California have not been sufficiently studied, in spite of their importance as a local wind field. It is of interest to study these breezes because of the influence they have on the local wave field, and their relation with the generation of surface currents, phenomena that represent a potential impact on the exchange processes of gas and energy, both decisive in determining global climate changes.

The breeze system along the California gulf coast shows winds normal to the coast, and in some cases, reflects local effects (Badan-Dangon *et al.*, 1991). The winds associated with the breezes in this region have maximum speeds during midday hours when they blow sea to land, sea breeze, and minimum intensities during the early morning hours when they blow in the opposite direction, land breeze, (Roden, 1964).

The wind field, in addition to the breeze system, in the northern region of the Gulf of California normally presents synoptic scale events which manifest as persistent winds that last for several days (two to five), with high coherence to the gulf's length and width, and a marked monsoonal behavior (north winds in winter and south winds in summer). However, the winds from these events show high variability during the spring and fall, and for this reason, they are known as transition seasons (Merrifield, 1989; Bray and Robles, 1992).

estaciones se les ha denominado de transición (Merrifield, 1989; Bray y Robles, 1992).

El comportamiento de los vientos asociados con el sistema de brisas depende de las características termodinámicas y geomorfológicas de la localidad y parcialmente de los vientos de escala sinóptica. En lugares donde los eventos sinópticos están ausentes, los efectos de las diferencias en temperatura determinan la generación de brisas y éstas son fácilmente detectables, mientras que, en las localidades donde los vientos se combinan, el sistema de brisas puede ser modificado y tiende a desaparecer. Dado que la zona costera en estudio se caracteriza por ser desértica, la diferencia entre los valores específicos del calor de la tierra y el mar asegura la formación del sistema de brisas, mismo que puede ser modificado por los eventos sinópticos que se presentan en la región. Otro factor que tiene influencia en el comportamiento de la brisa marina es la orientación de la línea de costa (Pavía y Reyes, 1983; Reyes y Parés, 1983).

En este trabajo se identifican y describen las brisas observadas durante junio y julio de 1984, y abril, mayo y junio de 1987, así como las alteraciones que éstas reflejan ante condiciones sinópticas de norte y sur, mediante análisis en los dominios de tiempo y frecuencia. Se proporciona información relevante acerca de la importancia relativa de las brisas y su variabilidad en escala de 1 a 24 horas. Badan-Dangon *et al.* (1991) presentaron hodógrafos para caracterizar el campo de brisas en algunas regiones del golfo de California, y representaron el viento durante los días típicos de verano e invierno, a partir de una serie de tiempo de aproximadamente 1.5 años de duración. El análisis presentado en este trabajo, además de referirse a una localidad no considerada hasta ahora, es más detallado en el sentido de analizar los días típicos de cada mes durante el periodo en que se efectuaron las mediciones.

## MATERIALES Y METODOS

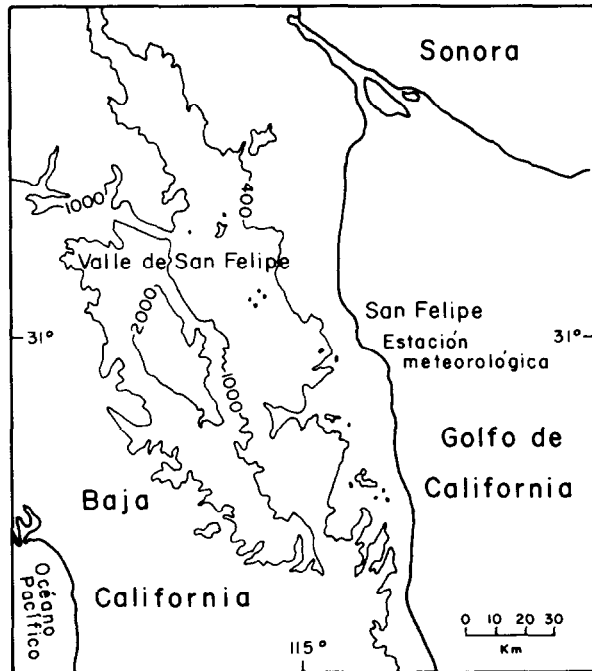
La información se registró con una estación meteorológica AANDERAA, sistema autónomo que funcionó con sensores para registrar presión atmosférica, así como rapidez y

The behavior of the winds associated with the breeze system depends upon the local thermodynamic and geomorphologic characteristics, and partially on the synoptic scale winds. In places where synoptic events are not present, the effects of the differences in temperature determine the generation of breezes which are easily detectable; however, in places where the winds intermingle, the breeze system can be modified and it tends to disappear. Since the coastal zone studied is a desert area, the differences between the specific land and sea heat values assure the formation of the breeze system, which can be modified by synoptic events present in the area. The coastline orientation is another factor that influences the behavior of the sea breeze (Pavía and Reyes, 1983; Reyes and Parés, 1983).

This paper identifies and describes the breezes observed during June and July 1984, and April, May and June 1987. Time and frequency analyses were also used to present the alterations these reflect from north and south synoptic conditions. This paper provides pertinent information on the relative importance of the breezes, and their variability in a 1-24 h scale. Badan-Dangon *et al.* (1991) presented hodographs to characterize the breeze field in some regions of the Gulf of California, and represented winds during typical days of summer and winter using a time series of approximately 1.5 years. The analysis presented in this paper, apart from referring to a location not considered until now, is more detailed in the sense that it examines the typical days of each month during the periods of measurement.

## MATERIALS AND METHODS

The information was measured with an AANDERAA meteorological station, an autonomous system which used sensors to register atmospheric pressure, wind speed and direction. The sensors were placed 10 m above mean sea level. The station was installed in the patio of the San Felipe, B.C., Federal Port Authority, south of the town by the same name, located between 31°00' and 31°01' N latitude and 114°48' and 114°50' W longitude (Fig. 1). The installation site was approximately 500 m from



**Figura 1.** Localización de la estación meteorológica. Las curvas de nivel se presentan en metros.

**Figure 1.** Localization of the meteorological weather station. Level curves shown are given in meters.

dirección del viento. La altura de los sensores fue 10 m sobre el nivel medio del mar. La estación fue instalada en los patios de la capitanía del puerto de San Felipe, B.C., al sur del poblado del mismo nombre, localizado entre los  $31^{\circ}00'$  y  $31^{\circ}01'$  de latitud N y los  $114^{\circ}48'$  y  $114^{\circ}50'$  de longitud O (Fig. 1). La distancia del lugar de la instalación a la costa fue de aproximadamente 500 m y estuvo libre de obstáculos físicos que pudiesen influir en las mediciones. La información original estaba orientada al norte magnético, por lo que se reorientó al norte geográfico sumando  $12^{\circ}22'$  y  $12^{\circ}13'$  para los datos de 1984 y 1987, respectivamente, según indica la carta OMEGA # 21008 del golfo de California. La orientación de la línea de costa en ese lugar es de  $327^{\circ}$  de acimut. La cadena montañosa que se extiende a lo largo de la península, aproximadamente 40 km al oeste de la estación, canaliza el campo de vientos sinópticos a lo largo del golfo (Bray y Robles,

the coastline, and was free of physical objects that could have influenced the measurements. The original information was recorded using magnetic north, and was reoriented to geographic north by adding  $12^{\circ}22'$  and  $12^{\circ}13'$  for the 1984 and 1987 data, respectively, as taken from the OMEGA #21008 chart for the Gulf of California. The coastline orientation of the site is  $327^{\circ}$  azimuth. Approximately 40 km west of the station is a mountain chain that extends along the peninsula and channels the synoptic wind field along the gulf (Bray and Robles, 1992). Its effect was detected from the information recorded.

The meteorological information used in this paper consists of hourly wind speed and direction data registered during two periods. The 1984 period of measurement was from 26 May at 13:00 h to 18 June at 13:00 h, and from 18 June at 19:00 h to 23 July at 13:00 h. The second period which took place in 1987 was

1992) y su efecto se detectó en la información registrada.

La información meteorológica utilizada consiste en datos registrados cada hora de la rapidez y dirección del viento durante dos jornadas. El tiempo de operación de la primera jornada, realizada durante 1984, fue del 26 de mayo a las 13:00 h al 18 de junio a las 13:00 h y del 18 de junio a las 19:00 h al 23 de julio a las 13:00 h. La segunda jornada, efectuada durante 1987, comprendió del 25 de marzo a las 16:00 h al 24 de junio a las 12:00 h. Las horas que faltan el 18 de junio de 1984 se deben al remplazo de baterías.

Los meses de mayo y junio se caracterizaron por tener un sistema de brisas bien definido. La Fig. 2 presenta la información de rapidez y dirección del viento ( $R, \theta$ ) correspondiente al mes de junio de 1984. Se observa que, durante las horas del mediodía, la rapidez adquiere valores máximos, y la dirección es normal a la línea de costa, así como de mar a tierra; mientras que adquiere valores mínimos durante las últimas y primeras horas de cada día, cuando el viento sopla de tierra a mar. Tal comportamiento es un ejemplo típico del sistema de brisas de la localidad, que se interrumpe ante eventos con vientos de origen sinóptico.

Los datos de  $R$  y  $\theta$  que definen al vector velocidad del viento ( $\underline{W}$ ) se transformaron en componentes  $u$  y  $v$ , con el componente  $u$  en dirección E-O y el componente  $v$  en dirección N-S. Se calcularon entonces los valores medios mensuales para cada hora del día, cada uno de los cuales representa el valor promedio vectorial a esa hora del día, en cada mes. Utilizando la representación indicial  $u_{ij}, v_{ij}$  en las operaciones anteriores, donde el primer subíndice representa la hora ( $i = 1, 2, 3, \dots, 24$ ) y el segundo el día ( $j = 1, 2, 3, \dots, 30$  ó  $31$ ), se planteó

$$\bar{u}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n u_{ij}$$

$$\bar{v}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n v_{ij}$$

a partir de estas expresiones, se obtuvieron magnitud ( $W_i = |\underline{W}_i|$ ) y dirección ( $\theta_i$ ) del vien-

from 25 March at 16:00 h to 24 June at 12:00 h. The hours missing from 18 June 1984 are due to battery replacement.

May and June are characterized as having a well defined breeze system. Figure 2 presents the wind speed and direction data ( $R, \theta$ ) corresponding to June 1984. It is observed that speeds reach maximum values during midday hours with a sea to land direction normal to the coastline; while minimum values are reached during the late and early hours of each day when the wind blows from land to sea. This behavior is a classic example of a local breeze system that is interrupted by synoptic wind events.

The  $R$  and  $\theta$  data that define the wind vector velocity ( $\underline{W}$ ) were transformed to components  $u$  and  $v$ , with the  $u$  component in an E-W direction and the  $v$  component in a N-S. The average monthly values for every hour of the day were calculated, each one of these represents the mean vector value at that hour of the day in each month. Using the subindex notation  $u_{ij}, v_{ij}$  in the above calculations, where the first subindex represents the hour ( $i = 1, 2, 3, \dots, 24$ ), and the second the day ( $j = 1, 2, 3, \dots, 30$  or  $31$ ), you have

$$\bar{u}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n u_{ij}$$

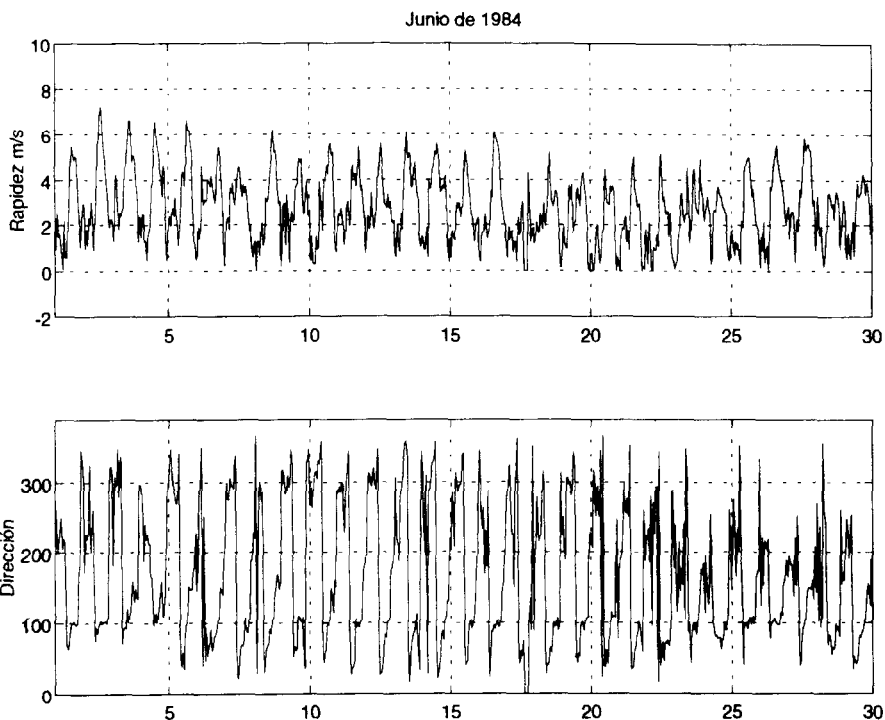
$$\bar{v}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n v_{ij}$$

and from these, magnitude ( $W_i = |\underline{W}_i|$ ) and the mean monthly wind direction ( $\theta_i$ ) at hour ( $i = 1, 2, 3, \dots, 24$ ) were obtained:

$$W_i = \sqrt{(u_i^2 + v_i^2)}$$

$$\theta_i = \tan^{-1} \frac{\bar{v}_i}{\bar{u}_i}$$

The time domain hodographs introduced by Haurwitz (1947) in his study on the breeze



**Figura 2.** Comportamiento de rapidez y dirección del viento correspondiente al sistema típico de brisas en San Felipe, B.C., durante junio de 1984.

**Figure 2.** The behavior of wind speed and direction corresponding to the classical breeze system in San Felipe B.C., during June 1984.

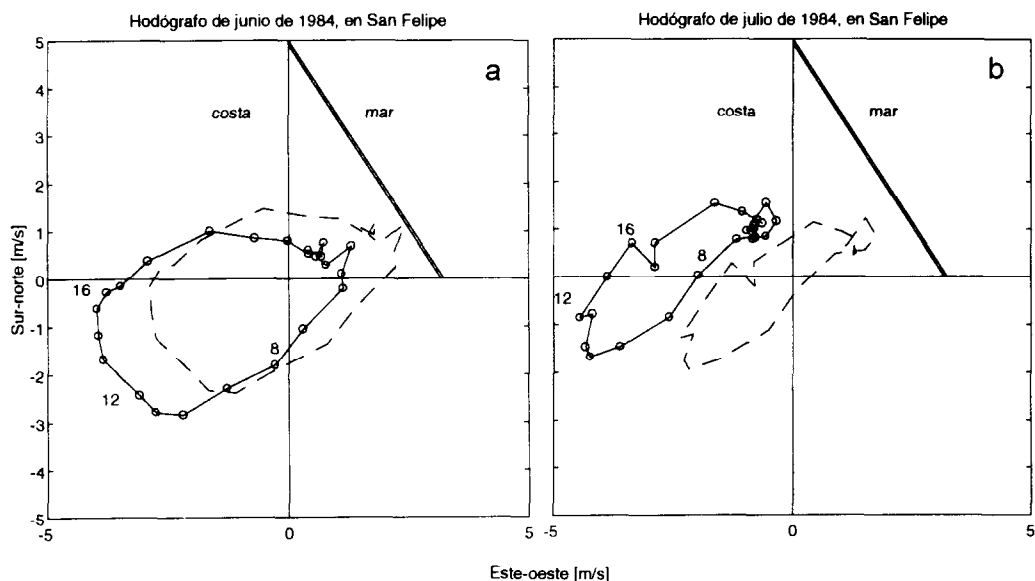
to medio mensual a determinada hora ( $i = 1, 2, 3, \dots, 24$ ):

$$W_i = \sqrt{(u_i^2 + v_i^2)}$$

$$\theta_i = \tan^{-1} \frac{v_i}{u_i}$$

Los hodógrafos en el dominio del tiempo, introducidos por Haurwitz (1947) en su estudio sobre la circulación del sistema de brisas, han sido utilizados por Staley (1957), Fosberg y Schroeder (1966), y Yoshikado (1981), entre otros, para hacer análisis del campo de vientos. A partir de los valores medios mensuales ( $W_i, \theta_i$ ), se construyeron los hodógrafos correspondientes a cada mes de ambas jornadas. La repre-

circulation system have been used by Staley (1957), Fosberg and Schroeder (1966), Yoshikado (1981) among others, to analyze the wind field. The hodographs corresponding to every month from both time periods were determined from the average monthly values ( $W_i, \theta_i$ ). The hodographic representation can take on characteristic geometric forms. An elliptic form indicates a well defined breeze system, and its position in relation to the origin reflects the possible influence of a synoptic field (Staley, 1957). However, this representation smooths the abrupt characteristics that winds may show on a certain day. The time domain hodographs are useful for providing information on the average wind speed and direction for every hour of the day during the month, and for identifying the effect of the synoptic scale winds. Figures 3 and 4 present the hodographs corresponding to the 1984 and 1987 periods, respectively. The



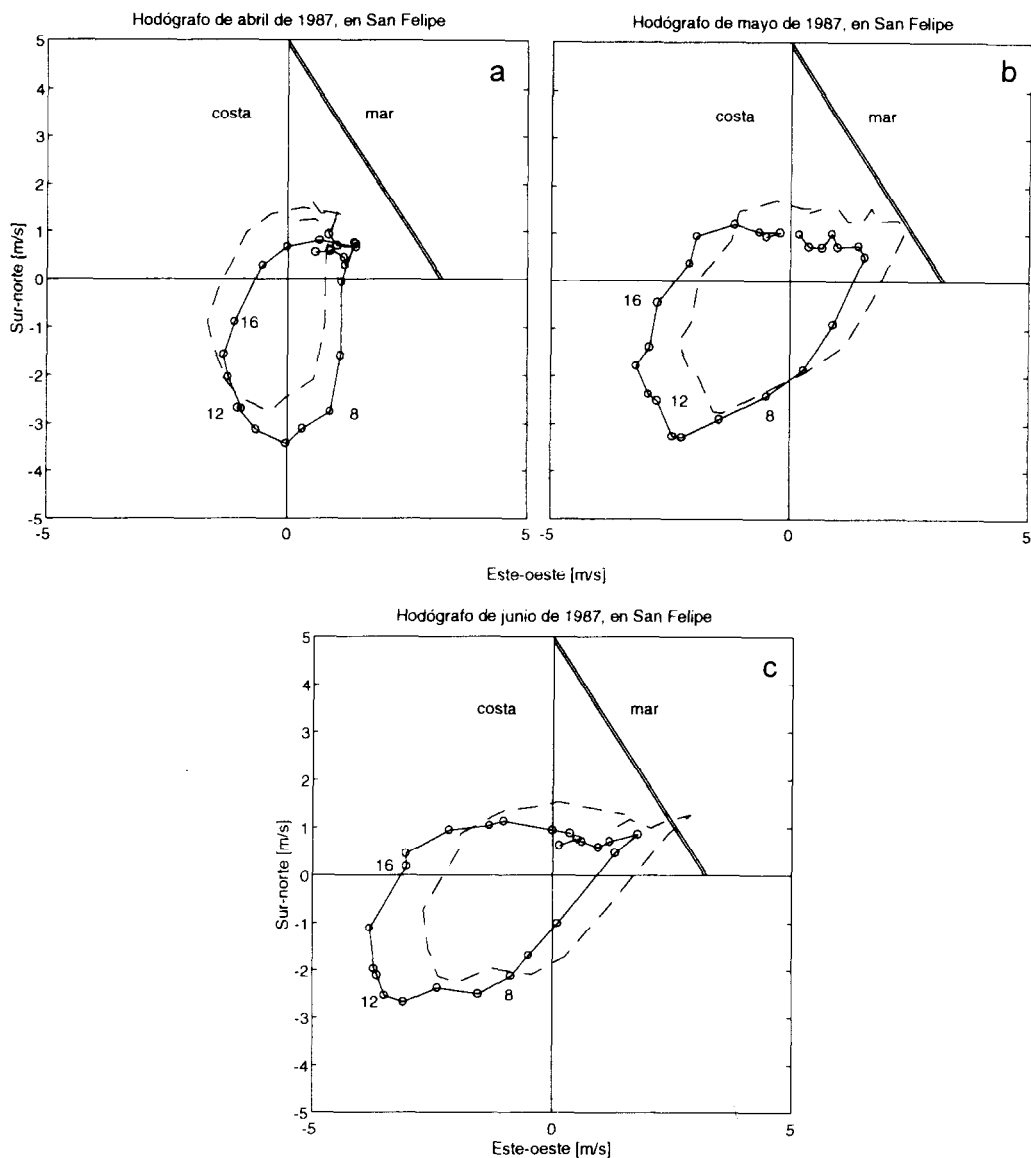
**Figura 3.** Representación hodográfica de la información de viento obtenida durante la jornada de 1984 (—), y la diferencia entre los vientos medidos y los asociados con escalas mayores de un día (---) durante: a) junio y b) julio de 1984. Se presenta también la orientación de la línea de costa con doble línea (327° acimutales) y la hora del día.

**Figure 3.** Hodographic representation of wind information obtained during the 1984 period of measurement (—), and the difference between the measured winds and those associated with scales longer than one day (---) during a) June and b) July 1984. The coastline orientation is also presented with a double line (327° azimuthal) and the hour of the day.

sentación hodográfica puede adquirir formas geométricas características. Una forma elíptica indica un sistema de brisas bien definido, y su posición en relación con el origen refleja la posible influencia del campo sinóptico (Staley, 1957). Sin embargo, esta representación suaviza las características abruptas que los vientos pudiesen presentar en un cierto día. La utilidad de los hodógrafos en el dominio del tiempo consiste en que proporcionan información sobre la rapidez y dirección promedio del viento a cada hora del día, durante el mes, y permiten identificar el efecto de los vientos con escala sinóptica. Las Figs. 3 y 4 presentan los hodógrafos correspondientes a las jornadas de 1984 y 1987, respectivamente, empleando la convención usada en oceanografía, con el vector indicando la dirección hacia donde sopla el viento. Los hodógrafos formados con línea discontinua representan la diferencia entre los datos originales y los datos suavizados mediante un promedio co-

oceanographic conventional scheme of reference was used with the vector indicating the direction towards where the wind blows. The dashed line hodographs represent the difference between the original data, and the data smoothed by passing through a 24 points running mean filter three times, that is, they represent only the breeze system.

The frequency domain hodographic representation was obtained from the rotary spectra method (Gonella, 1972; Mooers, 1973), that has been used regularly in sea currents and/or winds (Reyes and Parés, 1983; Sandoval, 1983). It consists of transforming a vector to the frequency domain which can be expressed as a complex number like  $w(t) = u(t) + iv(t)$ , where  $i = (-1)^{1/2}$ . This transformation generates two vectorial spectral components with a phase and magnitude proper to the frequency determined. Each one describes circular paths with opposite sense which are known as positive and



**Figura 4.** Representación hodográfica de la jornada de 1987, durante: a) abril, b) mayo y c) junio.  
**Figure 4.** Hodographic representation of the 1987 period of measurement during: a) April, b) May and c) June.

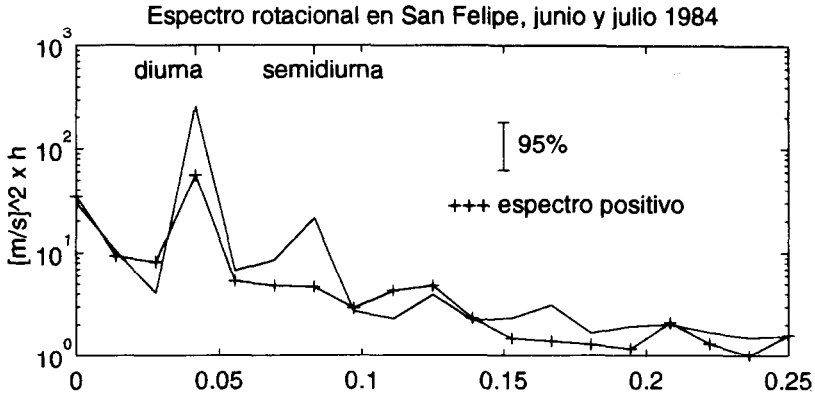
ruido de 24 puntos en tres ocasiones, es decir, representan únicamente al sistema de brisas.

La representación hodográfica en el dominio de la frecuencia se hizo a través del espectro rotacional (Gonella, 1972; Mooers, 1973), que ha sido utilizado con regularidad en datos de

negative rotary spectra. The modulus of said components describes an ellipse for every frequency component with a certain sense of rotation.

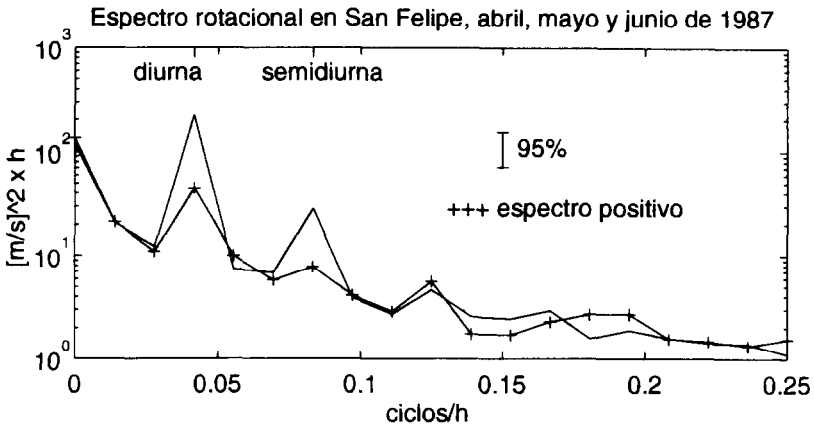
All of the information from both periods was used to estimate the rotary spectra, and the





**Figura 5.** Espectro rotacional del viento medido durante la jornada de 1984. El eje de energía está en escala logarítmica, el eje de frecuencia en ciclos/h y los intervalos de confianza al 95% se muestran con la barra en el centro de cada gráfica.

**Figure 5.** Rotary wind spectra measured during the 1984 period of measurement. The energy axis is presented in logarithmic scale, the frequency axis in cycles/h and the 95% confidence intervals are shown with a bar at the center of every figure.



**Figura 6.** Espectro rotacional de la jornada de 1987.

**Figure 6.** Rotary spectra for the 1987 period of measurement.

corrientes marinas y/o vientos (Reyes y Parés, 1983; Sandoval, 1983). Este consiste en transformar al dominio de la frecuencia un vector, que puede ser expresado como un número complejo de la forma  $w(t) = u(t) + iv(t)$ , donde  $i = (-1)^{1/2}$ . Tal transformación genera dos componentes espectrales vectoriales, con fase y magnitud propias para determinada frecuencia,

averages between the independent bands were calculated in order to obtain 36 final bands. From the 1984 measurement period, 14 bands were averaged and 28 degrees of freedom were obtained in every estimate. From the 1987 period, 28 bands were averaged and 56 degrees of freedom obtained. The positive and negative spectra for both periods are presented in Figs. 5

los cuales describen sendos movimientos circulares con sentido opuesto entre sí, denominados espectros rotacionales positivo y negativo. El módulo de dichos componentes describe una elipse por cada componente de frecuencia, con un cierto sentido de rotación.

Con la información total de cada jornada, se estimaron los espectros rotacionales y se realizaron promedios entre bandas independientes, para lograr tener 36 bandas finales. De la jornada de 1984, se promediaron 14 bandas y se alcanzaron 28 grados de libertad en cada estimación. De la jornada de 1987, se promediaron 28 bandas y se lograron 56 grados de libertad. En las Figs. 5 y 6 se presentan los espectros positivos y negativos para ambas jornadas. En ambos casos, los valores de energía asociados con las bandas cero, diurna y semidiurna explican el 72 % de la energía total de los espectros; el 30% restante está distribuido en las otras 33 bandas y no es energía significativa. Para obtener las estimaciones espectrales, se eliminaron la media y la tendencia, y se utilizó una ventana coseno a un 5% de los extremos de cada serie original. La disminución en varianza fue compensada de acuerdo con Bendat y Piersol (1971).

A partir de la información de los espectros rotacionales, se formaron las elipses componentes correspondientes a las bandas cero, diurna y semidiurna (Figs. 7, 8). Con el propósito de visualizar los eventos de viento asociados con escalas sinópticas, las series de datos fueron suavizadas mediante un promedio corrido de 24 datos, en tres ocasiones consecutivas, de acuerdo con Godin (1988). Con este tratamiento se elimina la información asociada con las brisas y sobresalen los regímenes que tienen duración de más de un día (Figs. 9a, b).

## RESULTADOS

La forma de los hodógrafos en el dominio del tiempo (Figs. 3, 4) representa un sistema de brisas bien definido, cuya posición en relación con el origen es función del efecto del campo sinóptico, y su rotación en el sentido de las manecillas del reloj es propia del hemisferio norte (Staley, 1957). La línea discontinua representa la forma que describen los vientos asociados únicamente con el sistema de brisas, mientras

and 6. In both cases, the energy values associated with the zero, diurnal and semi-diurnal bands explain 72% of the total spectral energy; the remaining 30% is distributed in the other 33 bands and is not significant. In order to obtain the spectral estimates, the mean and tendency were eliminated and a 5% cosine window was applied to the extremes of every original time series. The decrease in variance was compensated according to Bendat and Piersol (1971).

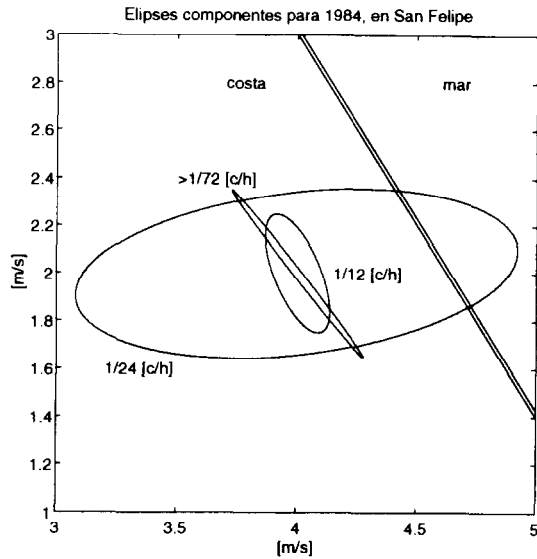
Rotary spectra data were used to form the ellipses components corresponding to the zero, diurnal and semi-diurnal bands (Figs. 7, 8). In order to visualize the wind events associated with synoptic scales, the data series were smoothed by passing through a 24 points running mean filter three times according to Godin (1988). This procedure eliminates the information associated with the breezes, and the regimens that last longer than one day stand out (Figs. 9a, b).

## RESULTS

The shape of the time domain hodographs (Figs. 3, 4) represents a well defined breeze system, whose position in relation to the origin is a function of the synoptic field effect, and its clockwise rotation is proper to the Northern Hemisphere (Staley, 1957). The dashed line represents the shape described by winds associated only with the breeze system, while the solid line represents the original data, in other words, the wind field that includes synoptic events as well as the breeze system.

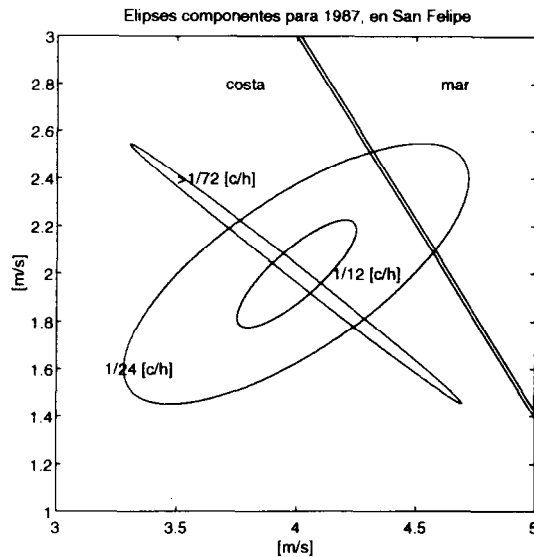
The June 1984 hodograph (Fig. 3a) presents a well developed elliptical shape, where a hypothetical major semi-axis, that practically coincides with the direction normal to the coastline, can be drawn at the time intervals where the velocity vector acquires its maximum values. It is observed that the synoptic winds are weak during this month; however, the out of origin displacement of the hodograph, without any shape modification, is a clear indicator of persistent and weak winds that blow from sea to land.

On other hand, the July 1984 hodograph (Fig. 3b) presents a distortion in the "ellipse" that is considered proper to a breeze system because of its shape and position with respect to



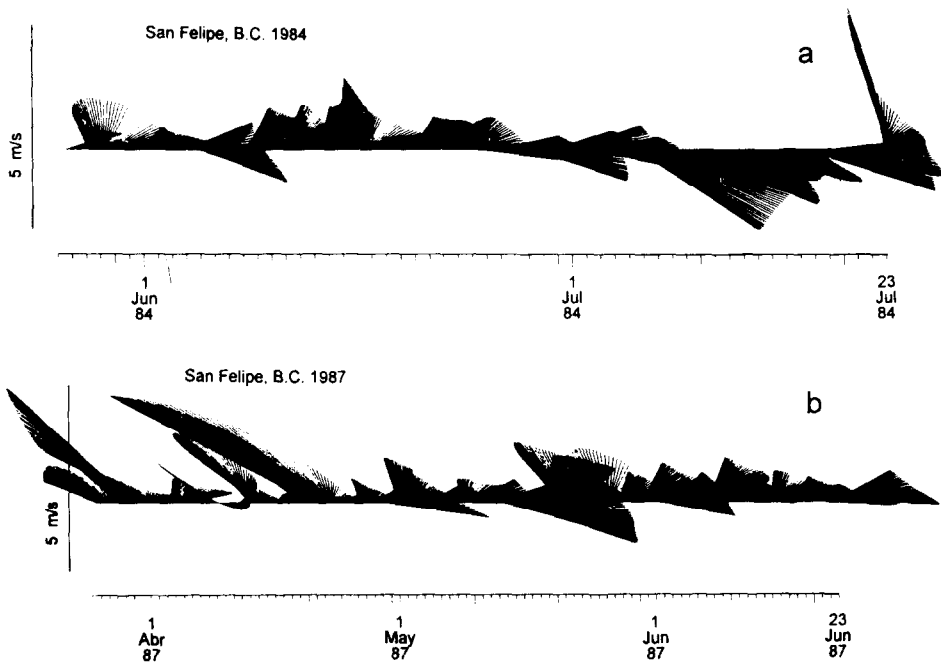
**Figura 7.** Elipses componentes de las bandas con mayor energía durante la jornada de 1984. La mayor elipse corresponde a la banda diurna, 1/24 ciclos/h (c/h) y le sigue la correspondiente a la banda cero, > 1/72 c/h, cuya orientación corresponde a la línea de costa (==).

**Figure 7.** Ellipses components for the higher energy bands during 1984. The larger ellipse corresponds to the diurnal band, 1/24 cycles/h (c/h), followed by the zero band, >1/72 c/h, whose orientation corresponds to the shoreline (==).



**Figura 8.** Elipses componentes para las bandas de mayor energía durante la jornada de 1987. Las bandas de 1/24 y 1/12 ciclos/h (c/h) presentan orientación normal a la línea de costa, mientras que la banda >1/72 c/h tiene orientación NO.

**Figure 8.** Ellipses components for the higher energy bands during 1987. The 1/24 and 1/12 cycles/h (c/h) bands show orientation normal to the coastline, while the >1/72 c/h band is NW oriented.



**Figura 9.** Diagrama de astillas que representa el viento empleando la convención meteorológica, donde sobresalen los eventos cuyos vientos persisten varios días: a) para la jornada de 1984 y b) para la jornada de 1987.

**Figure 9.** Vector time series that represent the wind according to the meteorological convention, where the events that persisted for several days stand out: a) for 1984 and b) for 1987.

que la línea continua representa los datos originales, es decir, el campo de vientos que incluye tanto los eventos sinópticos como el sistema de brisas.

El hodógrafo correspondiente a junio de 1984 (Fig. 3a) presenta una forma elíptica bien desarrollada, donde puede trazarse, en los intervalos de tiempo en que el vector de velocidad adquiere sus valores máximos, un semieje mayor hipotético que coincide prácticamente con la dirección normal a la línea de costa. Se observa que los vientos sinópticos son débiles durante este mes; sin embargo, el desplazamiento del hodógrafo con respecto al origen, sin modificación en forma, es un indicador de vientos persistentes y débiles que soplan de mar a tierra.

Por otro lado, el hodógrafo de julio de 1984 (Fig. 3b) presenta una distorsión de la "elipse" que se considera propia de un sistema de brisas, tanto en forma como en posición en

the origin, which is due to the effect of E synoptic winds. The ellipse is elongated indicating that the breeze system is modified by the winds blowing in a direction almost normal to the coast, with a sea to land sense during the day, maximum intensity around noon, and diurnal speed oscillations. During the night, the intensities are less and direction is almost parallel to the coast.

The April 1987 hodograph (Fig. 4a) shows a sea breeze blowing obliquely to the coast, and the southward elliptic displacement indicates the presence of a north synoptic wind. In Figs. 4b and c corresponding to May and June 1987, the elliptic shape is wide and its major semi-axis tends to orient normal to the coast.

In the rotary spectra from the 1984 measurement, the zero, diurnal and semi-diurnal frequency bands contain 72% of the estimated total energy, and the diurnal band explains 57%

relación con el origen, debido al efecto de vientos sinópticos del E. La elipse es alargada, lo que indica que el sistema de brisas aparece modificado debido a vientos con dirección casi normal a la costa, en sentido de mar a tierra durante el día, intensidad máxima alrededor de las 12 horas y oscilaciones diurnas en rapidez. Durante la noche, las intensidades son menores y la dirección es prácticamente paralela a la costa.

El hodógrafo correspondiente al mes de abril de 1987 (Fig. 4a) representa a la brisa marina con un componente de dirección oblicua a la costa y desplazamiento del patrón elíptico hacia el sur, lo que indica la presencia de vientos sinópticos del N. En las Figs. 4b y c, correspondientes a los hodógrafos de mayo y junio de 1987, la forma elíptica es amplia y su semieje mayor tiende a orientarse en dirección normal a la costa.

En los espectros rotacionales de la jornada de 1984, las bandas cero, diurna y semi-diurna contienen el 72% de la energía total estimada, y la banda diurna explica un 57% del total. La energía asociada con las bandas diurna y semidiurna en el espectro negativo es significativamente mayor que la correspondiente en el espectro positivo (Fig. 5). En los espectros rotacionales correspondientes a las mediciones de 1987, las tres primeras bandas contienen el 72% de la energía estimada; sin embargo, las bandas cero y diurna representan 31 y 35% del total, respectivamente. De nuevo, la energía es significativamente mayor en el espectro negativo que en el positivo en las bandas diurna y semidiurna, no así en la banda cero (Fig. 6).

Las elipses componentes de ambas jornadas para las bandas con mayor energía se presentan en las Figs. 7 y 8. En ambos casos, el sentido de rotación en las bandas diurna y semidiurna es negativo, propio del hemisferio norte; mientras que en la banda cero, las velocidades de rotación de las partes positiva y negativa del espectro son prácticamente iguales, y no es posible determinar un sentido significativo del giro.

Las series de tiempo suavizadas permiten identificar condiciones de viento sinóptico. En la Fig. 9a es posible apreciar tanto vientos del NE como del SE, con rapidez menor de 4 m/s durante mayo y junio, y el aumento de velocidad de los vientos del SE, con eventos de

of the total. The energy associated with the diurnal and semi-diurnal bands in the negative spectra is significantly greater than the corresponding energy in the positive spectra (Fig. 5). In the rotary spectra of the 1987 measurement, the first three bands contain 72% of the estimated energy; however, the zero and diurnal bands represent 31 and 35% of the total, respectively. Once again, the energy observed in the diurnal and semi-diurnal bands in the negative spectra is significantly greater than in the positive, but not in the zero band (Fig. 6).

Figures 7 and 8 present the ellipses components for the bands with greater energy from both measurement periods. In both cases, the sense of rotation in the diurnal and semi-diurnal bands is negative, proper to the Northern Hemisphere; while, the zero band exhibits practically equal rotation speed for both the positive and negative spectra, and it is not possible to determine a significant sense of rotation.

Synoptic wind conditions can be identified from the smoothed time series. In Fig. 9a, it is possible to observe both NE and SE winds with speeds less than 4 m/s during May and June, and the increase in speed of the SE winds, up to 6 m/s in July (proper summer conditions). In figure 9b, the time series starts with winds from the NW that reach speeds of 6 to 8 m/s during some days in March and April (proper winter conditions), that later change to variable winds from the NE and SE with speeds between 4 and 5 m/s.

## DISCUSSION

The elliptical shapes presented in the June 1984 and May and June 1987 hodographs are similar, with greater amplitude than those of July 1984 and April 1987 (Figs. 3, 4), and displaced towards the southeast. Such displacement indicates a moderated synoptic scale wind with an intensity that does not interrupt the regional breeze system. The breeze system is well represented during May and June, the sea to land winds are more intense than land to sea, and they have a hypothetical axis with an orientation normal to the coastline. Staley (1957) indicates that if you have two measurements that correspond to the same month but from different years, and the number of month-

hasta 6 m/s, durante julio (condiciones propias de verano). En la Fig. 9b, la serie se inicia con vientos del NO que alcanzan de 6 a 8 m/s durante algunos días de marzo y abril (condiciones propias de invierno) y cambia después a vientos variables del NE y SE, con rapidez entre 4 y 5 m/s.

## DISCUSION

Las formas elípticas que presentan los hodógrafos correspondientes a junio de 1984, y mayo y junio de 1987 son similares entre sí, de mayor amplitud que las de julio de 1984 y abril de 1987 (Figs. 3, 4) y desplazadas hacia el suroeste. Tal desplazamiento indica un viento moderado de escala sinóptica con una intensidad que no interrumpe el sistema de brisas de la región. Durante estos meses (mayo y junio) el sistema de brisas está bien representado, los vientos de mar a tierra son más intensos que los de tierra a mar y tienen un eje hipotético con orientación normal a la línea de costa. Staley (1957) indica que, si se cuenta con jornadas con meses que correspondan pero de años diferentes y un número de datos por mes que pueda considerarse equivalente entre las series, la forma de los hodógrafos será similar. Tal similitud se cumple para el mes de junio de las dos jornadas de mediciones presentadas (Figs. 3a, 4c).

Los hodógrafos de mayo y junio sugieren que el sistema de brisas es prevaeciente y de mayor importancia que el campo de viento sinóptico. Las intensidades máximas de los vientos asociados con las brisas son mayores que las de eventos de mayor escala.

Las brisas comprenden una oscilación diurna que implica variación en las características del viento durante intervalos de tiempo menores. Esto es, el viento cambia en intensidad y dirección a lo largo del día, de hora a hora por ejemplo, lo cual se puede observar principalmente en los hodógrafos presentados en las Figs. 3a y 4b, c.

Los vientos asociados con escalas sinópticas pueden ser identificados en los hodógrafos de las Figs. 3b y 4a, correspondientes a condiciones de verano e invierno, tanto por su forma alargada como por su desplazamiento fuera del origen. En contraste, los hodógrafos de las Figs. 3a, y 4b, c muestran efectos sinópticos de me-

ly data between the series can be considered equal, the shape of the hodographs will be similar. Said similarity is met in June from both periods presented (Figs. 3a, 4c).

The May and June hodographs suggest that the breeze system is prevalent and of greater importance than the synoptic wind field. The maximum intensities of the winds associated with the breezes are greater than those of longer scale events.

The breezes comprise a diurnal oscillation that implies variation in the characteristics of the wind during smaller time intervals. This means that the wind changes its intensity and direction throughout the day, from hour to hour for example, which can be observed in the hodographs presented in Figs. 3a and 4b, c.

The hodographs in Figs. 3b and 4a identify synoptic scale winds that correspond to summer and winter conditions, not only by their elongated shape, but also by their displacement from the origin. In contrast, the hodographs in Figs. 3a and 4b, c show less intense synoptic events, whose effect is the displacement of the hodograph from its position relative to the origin without deforming the elliptical shape.

In comparing the June and July hodographs to the corresponding summer months in Puerto Peñasco, Sonora (Badan-Dangon *et al.*, 1991), one would expect a similarity in shape and relative origin position, since said port is located on the other side of the gulf, approximately 10' north of San Felipe. However, similarity was found in shape, but not in displacement. San Felipe presents NE synoptic winds during June, while during July, they are practically from the E with intensities close to 2 m/s. The fact that the elliptical shape is modified during these two months suggests that summer conditions change monthly; therefore, any characterization of the breeze field that uses one complete season of data from time series that are not sufficiently extensive should be considered with caution.

The breeze regimen during July shows that the land breeze is similar in intensity to the sea breeze (Fig. 3b, once the hodograph has been displaced toward the origin). In a similar manner, and without taking into account the influence from the synoptic field, it can be suggested that the breeze intensities in the Puerto

nor intensidad, cuyo efecto es el desplazamiento del hodógrafo de su posición en relación con el origen, sin deformación de la forma elíptica.

Al comparar los hodógrafos de junio y julio con los correspondientes a los meses de verano en puerto Peñasco, Sonora (Badan-Dangon *et al.*, 1991), se esperaría encontrar similitud tanto en forma como en posición respecto al origen, dado que dicho puerto está localizado al otro lado del golfo, aproximadamente 10' al norte de San Felipe. Sin embargo, existe similitud en forma mas no en desplazamiento respecto al origen. En San Felipe, se presenta viento sinóptico del NE durante junio, mientras que durante julio es prácticamente del E, con intensidades de cerca de 2 m/s. El hecho de que durante estos dos meses se modifique la forma elíptica sugiere que las condiciones durante los meses de verano cambian de mes a mes, por lo que cualquier caracterización del campo de brisas que emplee una estación del año completa a partir de series que no son lo suficientemente largas en duración debe ser tomada con cautela.

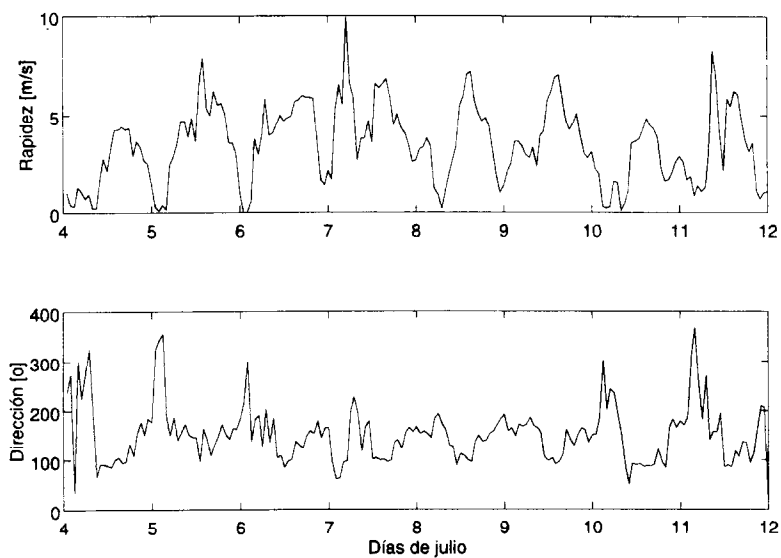
El régimen de brisas durante julio muestra que la brisa terrestre es similar en intensidad a la brisa marina (Fig. 3b, una vez que el hodógrafo ha sido desplazado hacia el origen). De forma similar, y sin tomar en cuenta la influencia del campo sinóptico, puede considerarse que en la estación de puerto Peñasco estudiada por Badan-Dangon *et al.* (1991) las intensidades de las brisas son aproximadamente iguales sólo durante los meses de invierno (noviembre de 1983 a mayo de 1984 y septiembre de 1984 a mayo de 1985), lo cual es indicación de que las condiciones imperantes tanto para el verano como para el invierno pueden cambiar de año a año. Por ello, se sugiere que, al caracterizar el campo de viento de determinada estación, se analicen series de tiempo de longitudes adecuadas.

Para la condición de verano (Fig. 9a) sólo se cuenta con 23 días del mes de julio, en los cuales los vientos fueron predominantes del SE, de forma similar a lo que indican Roden (1964), Bray *et al.* (1992) y Merrifield (1989). Ante estos vientos, el sistema de brisas se interrumpió, por la presencia del evento que se inició el día 6 de julio y terminó el 9, es decir, durante 93 horas no se registraron vientos de la tierra hacia el

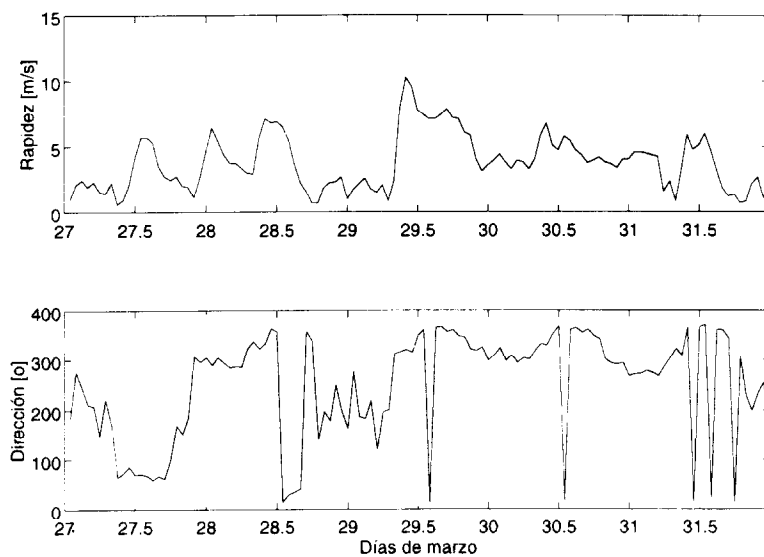
Peñasco station, studied by Badan-Dangon *et al.* (1991), are approximately the same only during the winter months (November 1983 to May 1984 and September 1984 to May 1985), which indicates that the prevailing conditions for both summer and winter can change from year to year. For this reason, it is suggested that adequate-length time series be analyzed in order to characterize the wind field for a certain season.

The summer condition (Fig. 9a) only contains 23 days from July with prevailing winds from the SE, similar to that reported by Roden (1964), Bray *et al.* (1992) and Merrifield (1989). The breeze system was interrupted by the presence of an event from 6-9 July; in other words, no land to sea winds, characteristic of the regional breeze system, were registered for 93 hours (Fig. 10). The maximum intensities of this event occurred on the 7th with average winds of up to 10 m/s maintained for one hour. Figure 10 presents the reduced speed in the first morning hours of each day during this event. Nevertheless, the direction indicates that the wind only blew from sea to land during this period of almost four days. The continental noon time heating during these events is observed by a counterclockwise rotation in the wind direction. That is, the wind direction in the morning was from the S-SE, and began a counterclockwise rotation around noon, when it acquired an E-SE direction almost normal to the coastline. It is convenient to point out that a SE synoptic wind was detected during July 1984, while none of these winds were detected in either of the two June measurements; in other words, the synoptic winds, proper to summer, were registered in mid-season.

During the 1987 period of measurement two events from the NW stand out with greater intensity and duration (Fig. 9b). The first one was registered for 45 straight hours from 8:00 h on 29 March until 4:00 h on 31 March, with an average speed of 5.2 m/s and standard deviation of 1.7 (Fig. 11). The second event lasted 67 hours from 5:00 h on 19 April until 24:00 h on 21 April, with an average speed of 6.2 m/s and standard deviation of 2.0 (Fig. 12). The typical breeze system was interrupted in both events; however, an intensification is identified in the midmorning wind, and a decrease during the



**Figura 10.** Rapidez y dirección del viento antes y después del evento del 6 al 9 de julio de 1984.  
**Figure 10.** Wind speed and direction before and after the event of 6 to 9 July 1984.



**Figura 11.** Rapidez y dirección del viento antes y después del evento del 29 al 31 de marzo de 1987.  
**Figure 11.** Wind speed and direction before and after the event of 29 to 31 March 1987.



mar, característicos del sistema de brisas de la región (Fig. 10). La máxima intensidad de este evento ocurrió el día 7, con vientos promedio de hasta 10 m/s sostenidos por una hora. En la Fig. 10, se aprecia la disminución de la rapidez en las primeras horas de la mañana de cada día durante el evento. Sin embargo, la dirección indica que el viento sopló sólo de mar a tierra durante este periodo de casi cuatro días. El calentamiento del continente en las horas del mediodía durante estos eventos se manifiesta con la rotación de la dirección de donde sopla el viento en contra de las manecillas del reloj. Es decir, durante la mañana la dirección del viento fue S-SE y comenzó a rotar en sentido contrario al de las manecillas del reloj en las horas próximas al mediodía, cuando adquirió la dirección E-SE, casi normal a la línea de costa. Es conveniente hacer notar que durante julio de 1984 se presentó viento sinóptico del SE, mientras que durante junio en ninguna de las dos jornadas se registraron estos vientos; es decir, los vientos sinópticos propios del verano se registraron a media estación.

En la jornada de 1987 sobresalen dos eventos del NO con mayor intensidad y duración (Fig. 9b). El primero se registró durante 45 horas continuas, desde las 8:00 h del 29 de marzo hasta las 4:00 h del 31 de marzo, con rapidez promedio de 5.2 m/s y desviación estándar de 1.7 (Fig. 11). El segundo duró 67 horas, desde las 5:00 h del 19 de abril hasta las 24:00 h del 21 de abril, con rapidez promedio de 6.2 m/s y desviación estándar de 2.0 (Fig. 12). Con ambos eventos se interrumpió el clásico sistema de brisas; sin embargo, se identifica una intensificación del viento a media mañana y una disminución durante las últimas horas de la noche, comportamiento asociado con el calentamiento y enfriamiento diferencial de la región. El promedio y la desviación estándar durante estas condiciones alcanzan valores iguales al doble de las estimaciones mensuales correspondientes.

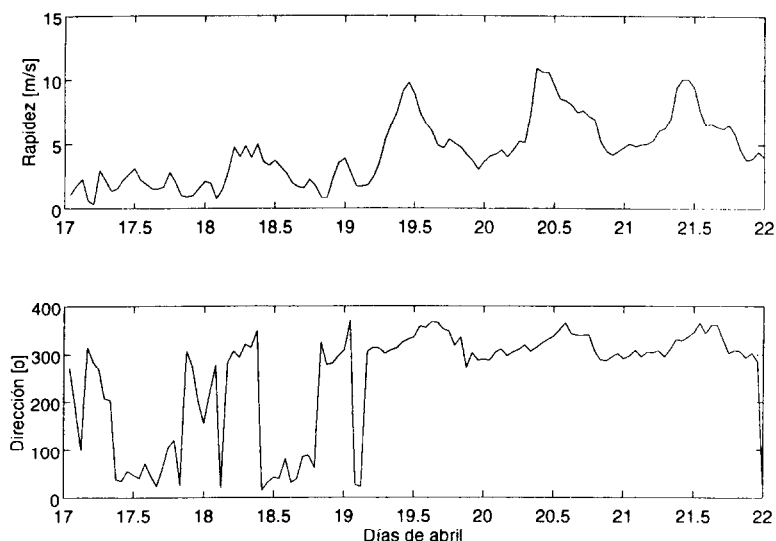
Los espectros rotacionales de ambas jornadas contienen el mayor porcentaje de energía en la representación negativa y en las bandas diurnas. En la jornada de 1984, esta banda explica el 57% de la energía total, lo que indica la importancia del calentamiento solar durante los

last hours of the night. This behavior is associated with the differential heating and cooling in the region. The average and standard deviation during these conditions reach up to twice the values of the corresponding monthly estimates.

The negative spectrum and diurnal bands contain the highest percentage of energy in the rotary spectra for both periods. In the 1984 period, this band explains 57% of the total energy, which indicates the importance of solar heating during the months observed. Such behavior is observed only in the first half of the 1987 period because of intrusions of NW synoptic events that interrupt the breeze system and cause persistent winds from the same direction, and also because the solar heating is not that well developed in this first half. In the second half of the period, the solar heating has a greater effect and the breezes are better developed in the area. This observation can explain why the zero and diurnal bands share a similar percentage of the total energy, 31 and 35%, respectively.

The frequency domain hodographs, also known as ellipses components (Figs. 7, 8), apart from identifying the greater energy wind events in frequency components, they also provide the average fluctuation that shows wind speed and preferential direction. The diurnal ellipse component in the 1984 period has a 2.7 m/s value in the major semi-axis, a negative sense of rotation, and the orientation angle of its major semi-axis is 7° with respect to east, and 33° with respect to a line normal to the coast. On the other hand, the angle of the major semi-axis in the zero band associated with synoptic effects is 309° azimuthal, and coincides with the beach azimuth of 327° (Fig. 7). These winds associated with synoptic events blow parallel to the coastline because of the channeling effect exerted by the mountain chain (Bray and Robles, 1992).

The first three bands in the 1987 period contain 72% of the estimated energy; however this is distributed between the zero and diurnal bands with a 31 and 35% participation, respectively. The major semi-axis value in the zero band is 2.6 m/s, 322° of inclination, blowing from the NW, and forming a 18° angle with the coastline azimuth. The value of the major semi-



**Figura 12.** Rapidez y dirección del viento antes y después del evento del 19 al 21 de abril de 1987.  
**Figure 12.** Wind speed and direction before and after the event of 19 to 21 April 1987.

meses observados. En la jornada de 1987 tal comportamiento se observa sólo parcialmente, porque durante la primera mitad de la jornada hay intrusiones de eventos sinópticos del NO que interrumpen el sistema de brisas, lo que origina un viento persistente en tal dirección, y porque el calentamiento solar aún no está tan desarrollado en esta primera mitad. En la segunda mitad de la jornada, el calentamiento solar tiene mayor efecto y las brisas están mejor desarrolladas en la zona. Tal observación puede explicar el porqué las bandas cero y diurna comparten un porcentaje similar de la energía total, 31 y 35%.

Los hodógrafos en el dominio de la frecuencia, conocidos también como elipses componentes (Figs. 7, 8), además de identificar por componentes en frecuencia los eventos de viento con mayor energía, proporcionan información promedio de las fluctuaciones que experimentan tanto la rapidez como la dirección preferencial de los vientos. La elipse componente de la banda diurna en la jornada de 1984 tiene un valor de semieje mayor de 2.7 m/s, sentido de rotación negativo y el ángulo de orientación de su semieje mayor es de  $7^\circ$  respecto al

axis in the diurnal band is 2.5 m/s, similar to the previous one, but the major semi-axis angle is  $34^\circ$ , it forms a right angle with the coastline and has a negative rotation sense (Fig. 8).

### CONCLUSIONS

The May and June hodographs present elliptic shapes that allow the identification of a breeze regimen, slightly displaced by the synoptic events in direction normal to the coast. This demonstrates the relative importance of the variability of the diurnal scale wind fields.

It is concluded that the breeze regimen during April and June is partially modified by the synoptic wind field effect. The breeze system is distorted and the wind intensity is practically reduced to oscillations, but with direction predominantly normal to the coast (specially during July).

The winds recorded during June and July of 1984, and April, May and June of 1987 partially present a monsoonal alternation, due to the presence of SE winds during the July 1984 period. Moreover, these suggest that the spring transition period occurs during May and June

este y 33° respecto a la normal a la línea de playa. Por otro lado, el ángulo del semieje mayor de la banda cero, asociada con efectos sinópticos, es 309° acimutal y coincide con el acimut de la playa, que es 327° (Fig. 7). Por ello, los vientos asociados con efectos sinópticos soplan paralelos a la línea de costa debido al efecto de canalización de la cadena montañosa (Bray y Robles (1992).

En la jornada de 1987, las tres primeras bandas contienen el 72% de la energía estimada; sin embargo, ésta está distribuida entre las bandas cero y diurna, con un 31 y 35% de participación, respectivamente. El valor del semieje mayor de la banda cero es de 2.6 m/s, su inclinación 322°, soplando del NO, y forma un ángulo de 18° con el acimut de la línea de costa. El valor del semieje mayor de la banda diurna es 2.5 m/s, similar al de la banda anterior, pero el ángulo del semieje mayor es 34°, forma un ángulo recto con la línea de costa y tiene sentido de rotación negativo (Fig. 8).

## CONCLUSIONES

Durante mayo y junio, los hodógrafos presentan formas elípticas que permiten identificar un régimen de brisas, desplazado ligeramente por los eventos sinópticos en dirección normal a la costa. Esto demuestra la importancia relativa de la variabilidad de los campos de viento de escala diurna.

Se concluye que, durante los meses de abril y julio, el régimen de brisas es parcialmente modificado por el efecto del campo de viento sinóptico. El sistema de brisas se distorsiona y prácticamente se reduce a oscilaciones en la intensidad del viento, aunque con dirección predominante normal a la costa (especialmente durante julio).

Los vientos registrados durante junio y julio de 1984, y abril, mayo y junio de 1987 muestran parcialmente una alternancia monzónica, debido a la presencia de vientos del SE, durante julio de la jornada de 1984. Sugieren además que la etapa de transición de primavera ocurre en los meses de mayo y junio, cuando el sistema de brisas presenta influencia de eventos sinópticos débiles. Sin embargo, tal sugerencia debe ser tomada con cautela, debido a la longitud de los registros.

when the breeze system is influenced by weak synoptic events. However, due to the length of the records analyzed, such a suggestion should be considered with caution.

The intrusion of NW or SE synoptic events with average speeds greater than 5 m/s interrupts the typical breeze system, and prevents the presence of the land breeze; however, the noonday solar heating intensifies the wind speed and changes its direction, forcing it to blow normal to the coast.

## ACKNOWLEDGEMENTS

This study was completed with the support of CONACYT contracts 1670-T9209 and D1762-T9201. The participation of F.J. Ocampo Torres was supported by CONACYT project 1109-T9201. Thanks to Joaquín García Córdoba for his valuable help in processing the information, and to José Luis Ochoa de la Torre for his generous advice. The collaboration of the students from the *Facultad de Ciencias Marinas*, and the people from Physical Oceanography in the *Instituto de Investigaciones Oceanológicas* in the *Universidad Autónoma de Baja California* is appreciated, especially from Rafael Blanco Betancourt and Eduardo Gil Silva. Thanks to the head of the San Felipe Port Authority who allowed us to install the meteorological station close to their offices, and who also took care of it.

English translation by the authors.

---

La intrusión de eventos sinópticos con vientos del NO o SE de rapidez promedio mayor de 5 m/s interrumpe el sistema típico de brisas y evita la presencia de la brisa terrestre; sin embargo, el calentamiento solar del mediodía intensifica la rapidez de los vientos y cambia su dirección, forzándolos a soplar normales a la costa.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se concluyó con apoyo de los convenios CONACYT 1670-T9209 y D1762-T9201. La participación de F.J. Ocampo Torres se sustentó en el proyecto CONACYT 1109-

T920. Joaquín García Córdoba proporcionó valiosa ayuda en el procesamiento de la información. José Luis Ochoa de la Torre brindó generosa asesoría. Se agradece la colaboración de los estudiantes de la Facultad de Ciencias Marinas y los integrantes del grupo de oceanografía física del Instituto de Investigaciones Oceanológicas de la UABC, especialmente de Rafael Blanco Betancourt y Eduardo Gil Silva. El responsable de la Capitanía de Puerto en San Felipe permitió instalar la estación meteorológica en las inmediaciones de sus oficinas y vigiló el estado físico de ésta.

#### REFERENCIAS

- Badan-Dangon, A., Dorman, C.E., Merrifield, M.A. and Winant, C.D. (1991). The lower atmosphere over the Gulf of California. **J. Geophys. Res.** 96(C9): 16 877-16 896.
- Bendat, J. S. and Piersol, A.G. (1971). **Random data: Analysis and measurements procedures**. John Wiley, New York, 407 pp.
- Bray, N.A. and Robles, J.M (1992). Physical oceanography of the Gulf of California. The Gulf and Peninsular Province of the Californias. **Memoir of the American Association of Petroleum Geologists**, 76 pp.
- Fosberg, M.A. and Schroeder, M.A. (1966). Marine Air Penetration in Central California. **J. A. Meteor.**, 5: 573-589.
- Godin, G. (1988). **Tides**. CICESE, Ensenada, B.C., México, 264 pp.
- Gonella, J. (1972). A rotary-component method for analysing meteorological and oceanographic vector time series. **Deep-Sea Res.**, 19: 833-846.
- Haurwitz, B. (1947). Comments on the sea-breeze circulation. **J. Meteor.** 4(1), 1-8.
- Merrifield, M. A. (1989). Shelf Circulation in the Gulf of California. PhD thesis, **SIO-UCSD**, San Diego, 107 pp.
- Mooers, C.N.K. (1973). A technique for the cross spectrum analysis of pairs of complex-valued time series, with emphasis on properties of polarized components and rotational invariants. **Deep-Sea Res.**, 20: 1129-1141.
- Pavía, E. y Reyes, S. (1983). Variaciones espaciales y estacionales del viento superficial en la Bahía de Todos Santos, B.C. **Ciencias Marinas**, 9(1): 151-167.
- Reyes, S. y Parés, A. (1983). Análisis de componentes principales de los vientos superficiales sobre la Bahía de Todos Santos. **Geofísica Internacional**, 22(2): 179-203.
- Roden, G.I. (1964). Oceanographic aspects of the Gulf of California. In: T.H. van Andel and G.G. Shor (eds.), **Marine Geology of the Gulf of California**, American Assoc. of Petroleum Geologists, Memoir 3, pp. 30-58
- Sandoval Mayorquín, J. (1983). Análisis estadístico de la corriente en la ensenada de La Paz, B.C.S. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Marinas, UABC, Ensenada, México, 119 pp.
- Staley, D.O. (1957). The low-level sea breeze of Northwest Washington. **J. Meteor.**, 14: 458-470.
- Yoshikado, H. (1981). Statistical analysis of the sea breeze in relation to general weather conditions. **J. Meteor. Soc. Japan**, 59(1): 98-107.