

## Periodos característicos en las oscilaciones de parámetros meteorológicos en Cayo Arcas, México

D. A. SALAS DE LEON<sup>1</sup>, M. A. MONREAL GOMEZ<sup>1</sup>, J. ALDECO RAMIREZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM, Apdo. Postal 70-905, 04510 México, D. F., México*

<sup>2</sup>*Estación de Investigación Oceanográfica de Veracruz, Depto. de Física y Meteorología, D. G. O. N., Secretaría de Marina, C. Colón 43, Fracc. Reforma, C. P. 91919, Veracruz, Ver. UACPyP/CCH de la UNAM. Apdo. Postal 70-905, 04510 México, D. F., México*

(Manuscrito recibido el 6 de nov. de 1991; aceptado en forma final el 14 de enero de 1992)

### RESUMEN

Se presenta un análisis de datos de humedad relativa, presión atmosférica, temperatura del aire, radiación, rapidez y dirección del viento, obtenidos de una estación meteorológica colocada en Cayo Arcas, dentro de la Bahía de Campeche, al sur del Golfo de México. Los datos corresponden a un muestreo efectuado del 3 de noviembre de 1990 al 17 de marzo de 1991. El análisis espectral de las series muestra la existencia de procesos con periodicidades de 12 y 24 horas para todos los parámetros, los cuales están asociados a un sistema local de brisas. Las series de temperatura y radiación presentan oscilaciones adicionales de 6 y 8 horas y las series de presión y magnitud del viento muestran oscilaciones adicionales en aproximadamente 4 y 16.6 días. Teniendo el viento una magnitud máxima de 21 m/s y dirección predominante del Norte.

**Palabras Claves:** Golfo de México, Bahía de Campeche, Meteorología, Análisis espectral, interacción aire-mar.

### ABSTRACT

Data analysis of relative humidity, barometric pressure, air temperature, radiation, wind speed and wind direction from a meteorological station placed at Cayo Arcas, inside of Campeche Bay, South of the Gulf of Mexico are presented. Observations were made from November 3, 1990 to March 17, 1991. The spectral analysis shows the existence of events with periodicities of 12 and 24 hours for each parameter analysed, which are associated to a local breeze system. Air temperature and radiation series shows additional oscillations at 6 and 8 hours, pressure and wind series present events with additional oscillations at approximately 4 and 16.6 days, with maximum wind speed of 21 m/s and a predominant direction from the North.

**Key words:** Gulf of Mexico, Campeche Bay, Meteorology, Spectral analysis, air-sea interactions.

### 1. Introducción

El Golfo de México es una región en la cual la variabilidad en los parámetros meteorológicos tiene una gran importancia para entender la dinámica de las aguas que lo forman (Vázquez de la Cerda, 1982; Monreal Gómez y Salas de León, 1990).

La dinámica del Golfo de México se ve fuertemente afectada por el paso de frentes fríos atmosféricos en los meses de invierno, la duración de esta actividad frontal es del orden de 1 a 2 días y está asociada con los valores más altos de rapidez y esfuerzo del viento (DiMego *et al.*, 1976). Al analizar series temporales de magnitud y dirección del viento con datos cada 12 horas, Rhodes *et al.* (1989), concluyen que existen fuertes variaciones temporales en los meses

de invierno y verano. Estos autores al analizar los campos de vientos sobre el Golfo, obtenidos a partir de una corrección de vientos geostroficados observan gran variación espacial y establecen que para poder analizar el efecto de los vientos sobre la circulación, se requiere de alta resolución temporal y espacial en los datos.

El estudio de la circulación inducida por el esfuerzo del viento en el Golfo de México es un tópico de fuerte interés en investigación regional. Merrell y Morrison (1981) han argumentado que la circulación ciclónica que se presenta en la Bahía de Campeche se debe al esfuerzo del viento.

Por otro lado, existe un fuerte interés en el entendimiento de los procesos de interacción océano-atmósfera. Adem *et al.* (1991) han realizado estudios de simulación de la temperatura superficial en el Golfo de México, mediante un modelo termodinámico en el cual se prescriben las condiciones atmosféricas. Villanueva Urrutia (1991) en su estudio sobre predicción de temperatura superficial del Golfo, hace notar que los resultados del modelo termodinámico se ven influenciados por la resolución de los datos prescritos los cuales generalmente son de escala hemisférica, por lo que se hace necesario contar con datos de una resolución adecuada a la escala del fenómeno a estudiar.

Tomando en consideración lo anterior se colocó una estación meteorológica en una pequeña isla denominada "Cayo Arcas" en la Bahía de Campeche al sur del Golfo de México, tratando de obtener información representativa de las condiciones de mar abierto, cuyos resultados pudieran ser utilizados en la corrección de vientos geostroficados y posteriormente en modelos de simulación de corrientes o de procesos de interacción océano-atmósfera (e.g. Adem *et al.*, 1991; Monreal Gómez y Salas de León, 1985 y 1990; Salas de León y Monreal Gómez, 1986; Villanueva Urrutia, 1991). En este trabajo se presenta el análisis de datos de humedad relativa (%), dirección del viento (grad.), presión atmosférica (hPa), temperatura del aire ( $^{\circ}\text{C}$ ), radiación ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) y magnitud de la velocidad del viento (m/s), obtenidos de dicha estación meteorológica.

## 2. Datos

La estación "Cayo Arcas" fue instalada en la isla que lleva el mismo nombre, la cual se encuentra situada en la Bahía de Campeche al sur del Golfo de México a  $20^{\circ}15' \text{ N}$  y  $91^{\circ}58' \text{ W}$  (Fig. 1).

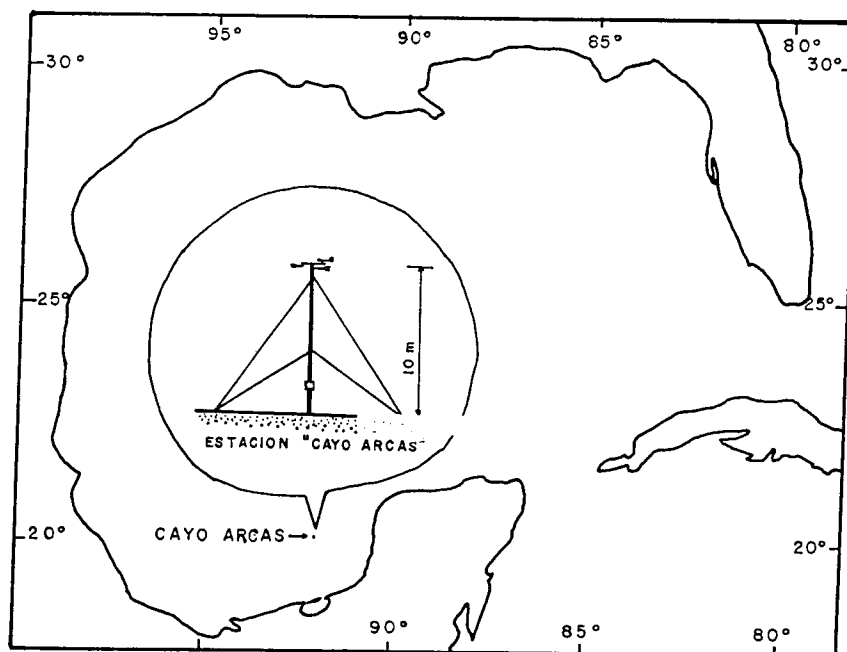


Fig. 1. Localización de la estación Cayo Arcas

En ese lugar se colocó una estación meteorológica UNIDATA con sensores para medir presión atmosférica, dirección y magnitud del viento, humedad relativa, temperatura del aire y radiación, registrando valores de dichos parámetros a la altura estándar de 10 m, como parte del proyecto de investigación “Dinámica oceánica y su relación con el deterioro ambiental en la porción sur del Golfo de México”, proyecto UNAM/DGAPA No. IN209789 (DINAMO). Dicha estación cuenta con un sistema digital de almacenamiento de información que le da una autonomía de seis meses, con registros de datos cada hora. El muestreo se inició a las 16:00 horas del 3 de noviembre de 1990 y se terminó a las 11:00 horas del 17 de marzo de 1991, con un total de 3212 registros. En el caso de la magnitud de la velocidad del viento, se presentaron problemas en el sensor y se tuvo pérdida de información a partir de las 8:00 horas del día 23 de febrero de 1991.

La Figura 2 muestra la evolución de la serie de humedad relativa (%) durante el periodo de muestreo. Este parámetro presenta mínimos ligeramente mayores a 40 % y máximos de

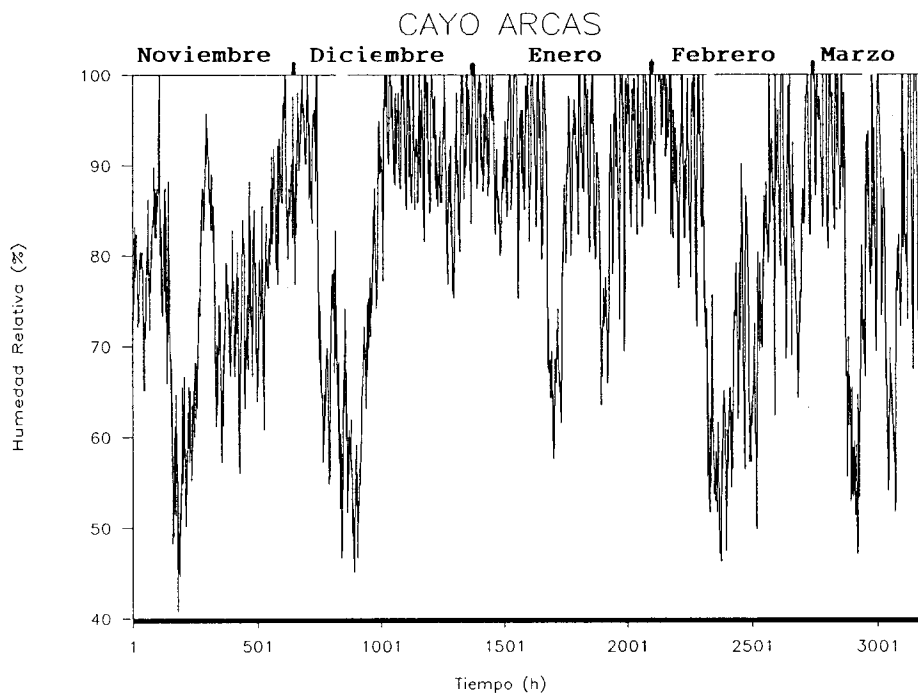


Fig. 2. Evolución de la humedad relativa (%) en la estación Cayo Arcas. Inicio 16:00 h del 3 de noviembre de 1991, fin 11:00 h del 17 de marzo de 1991.

100 %, pudiéndose observar en los meses de noviembre y diciembre una fuerte disminución, situación que se repite en febrero y marzo, con fluctuaciones mínimas del 15 de diciembre al 10 de febrero. La presión atmosférica (Fig. 3) muestra un comportamiento oscilante entre 1002 y 1026 hPa, con valores mínimos en marzo y máximos en los primeros días de diciembre, siendo su valor medio de 1016 hPa. La evolución de la temperatura del aire (Fig. 4), presenta marcadas oscilaciones, las cuales son menores durante los meses de noviembre y diciembre, mostrando una gran variabilidad en febrero y marzo con un rango de 17 a 30.5°C. En el caso de la radiación solar (Fig. 5), este parámetro toma valores máximos próximos a 900 W/m<sup>2</sup>, presentándose éstos en los meses de febrero y marzo; una fuerte disminución se observa en los meses de diciembre y enero. En cuanto a rapidez y dirección del viento (Figs. 6 y 7), los valores máximos de la magnitud del viento observados son próximos a 21 m/s, éstos se presentan durante el mes de diciembre y febrero. La dirección del viento, no obstante que muestra una gran variabilidad,

presenta una mayor incidencia del norte y del noreste (Figs. 7 y 8). Los promedios de los parámetros meteorológicos son de 23.00°C, 178.83 W/m<sup>2</sup>, 1015.4 hPa, 82.32 % y 6.6 m/s para temperatura del aire, radiación, presión atmosférica, humedad relativa y magnitud del viento respectivamente.

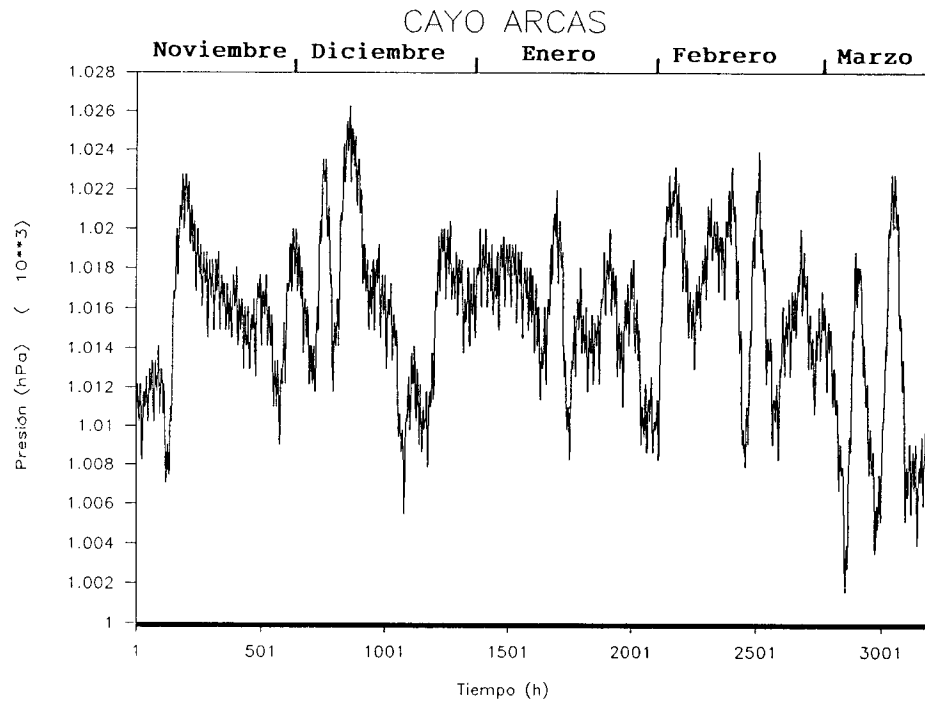


Fig. 3. Evolución de la presión atmosférica (hPa) en la estación Cayo Arcas. Inicio 16:00 h del 3 de noviembre de 1991, fin 11:00 h del 17 de marzo de 1991.

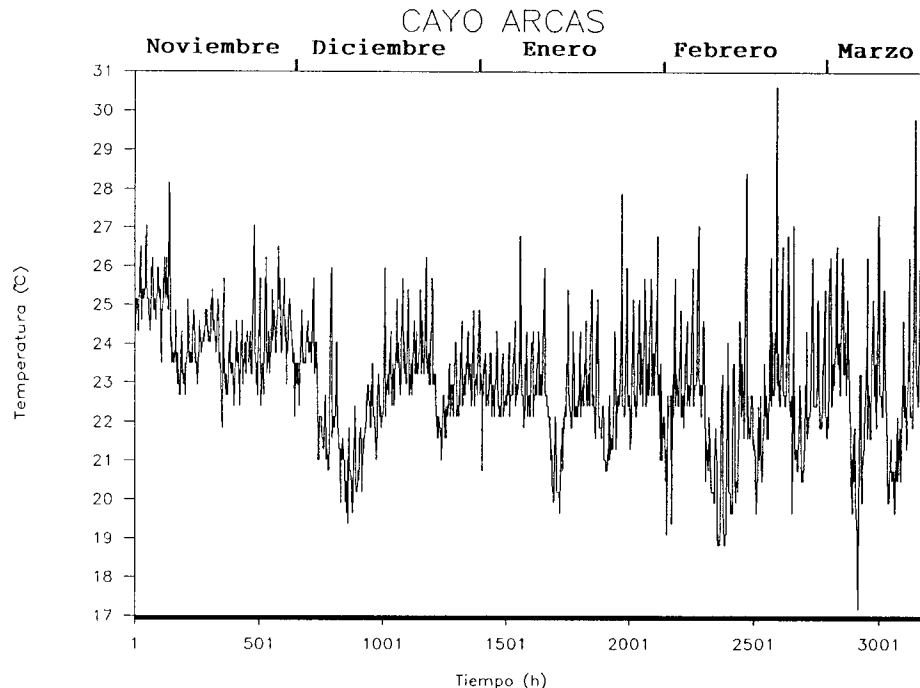


Fig. 4. Evolución de la temperatura del aire (°C) en la estación Cayo Arcas. Inicio 16:00 h del 3 de noviembre de 1991, fin 11:00 h del 17 de marzo de 1991.

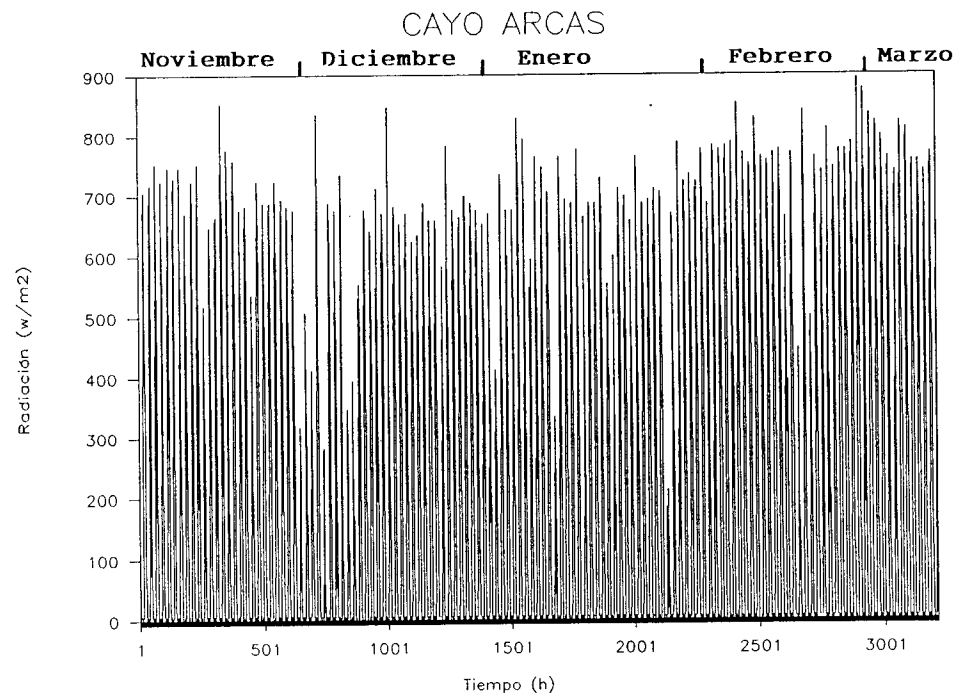


Fig. 5. Evolución de la radiación ( $W/m^2$ ) en la estación Cayo Arcas. Inicio 16:00 h del 3 de noviembre de 1991, fin 11:00 h del 17 de marzo de 1991.

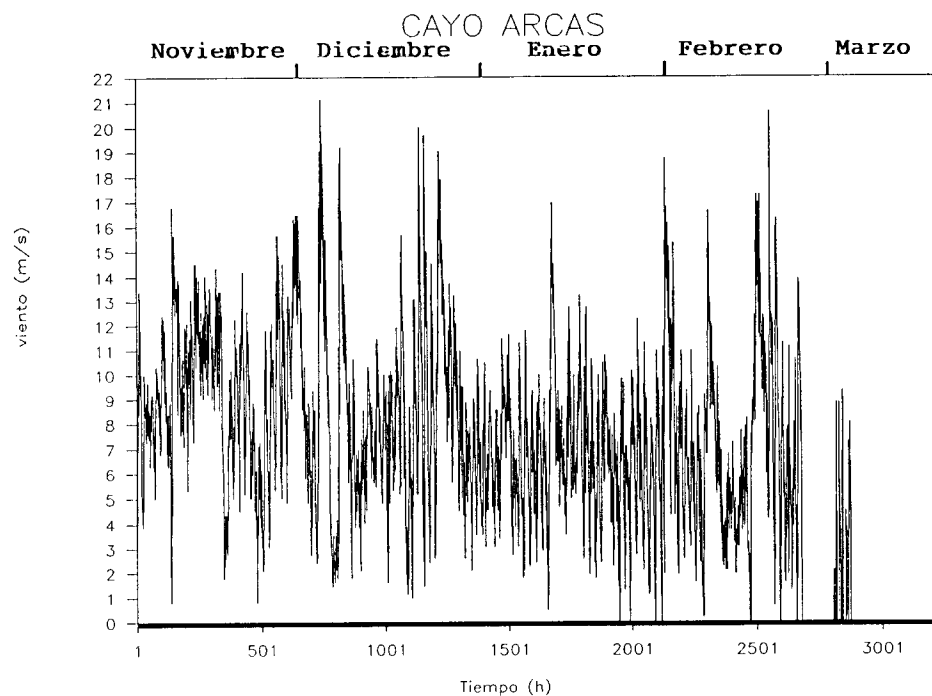


Fig. 6. Evolución de la magnitud del viento (m/s) en la estación Cayo Arcas. Inicio 16:00 h del 3 de noviembre de 1991, fin 11:00 h del 17 de marzo de 1991.

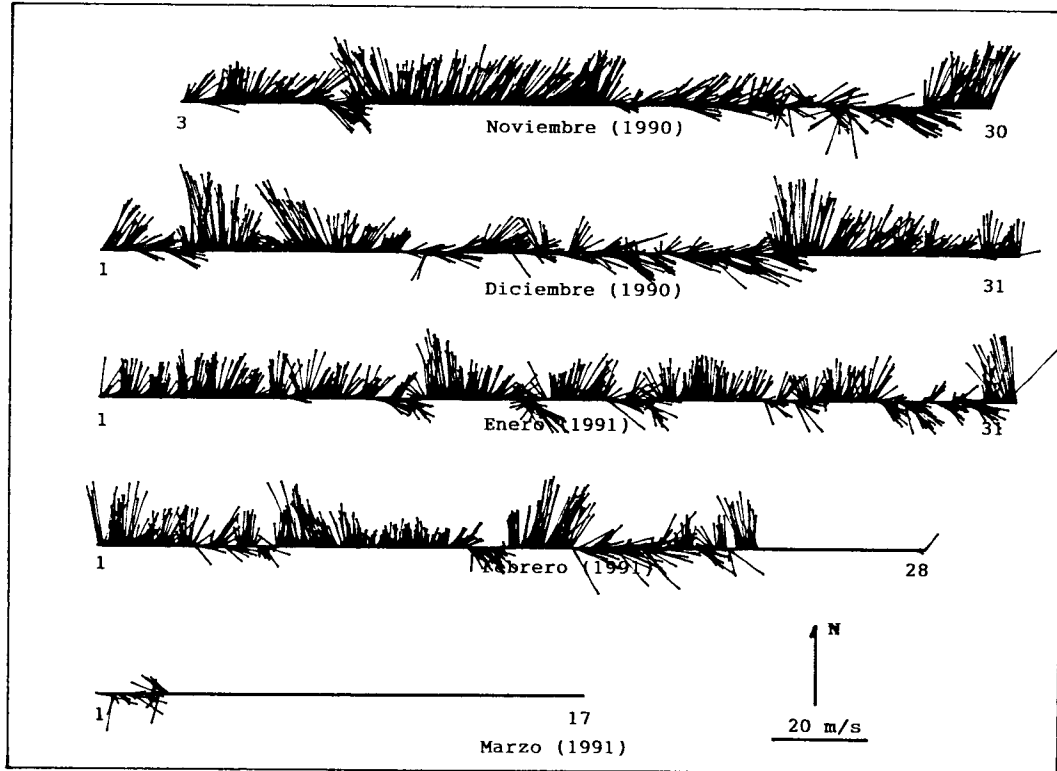


Fig. 7. Evolución del viento (m/s) en la estación Cayo Arcas. Inicio 16:00 h del 3 de noviembre de 1991, fin 11:00 h del 17 de marzo de 1991.

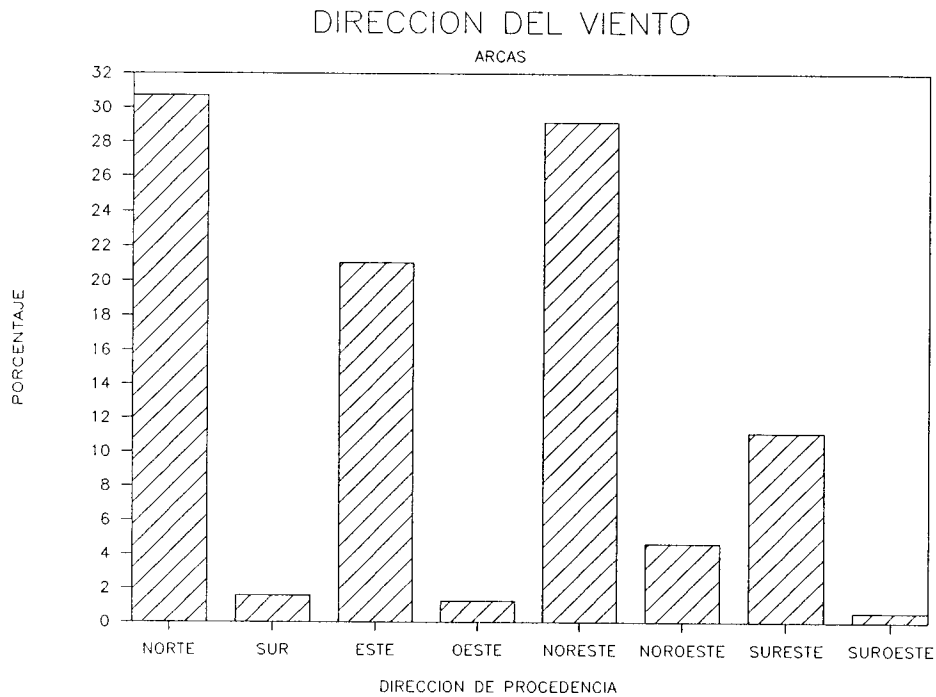


Fig. 8. Porcentajes de procedencia del viento en la estación Cayo Arcas. Inicio 16:00 h del 3 de noviembre de 1991, fin 11:00 h del 17 de marzo de 1991.

### 3. Periodicidad de los eventos meteorológicos

Con el objeto de conocer los periodos característicos de las oscilaciones de los parámetros observados, se efectuó un análisis espectral de las series obtenidas, usando Transformada Rápida de Fourier (FFT) y el Método de Máxima Entropía (MEM). Se utilizaron ambos métodos ya que éstos son complementarios el uno del otro (Burg, 1972). MEM tiene un gran poder resolutivo

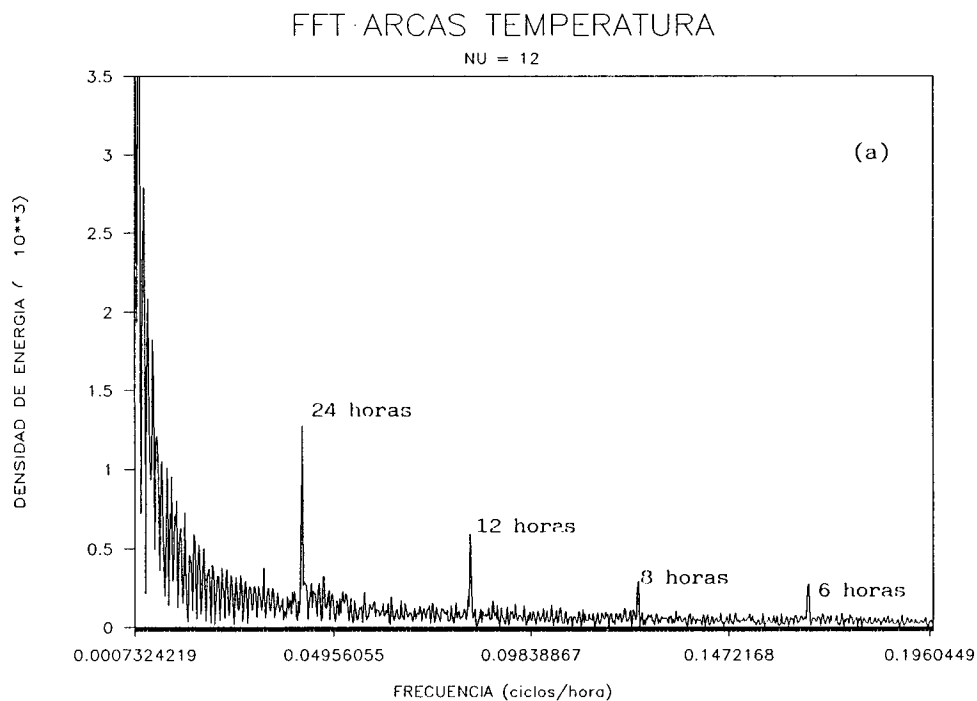


Fig. 9a. Espectro de energía (FFT) de la serie de temperatura de la estación Cayo Arcas.

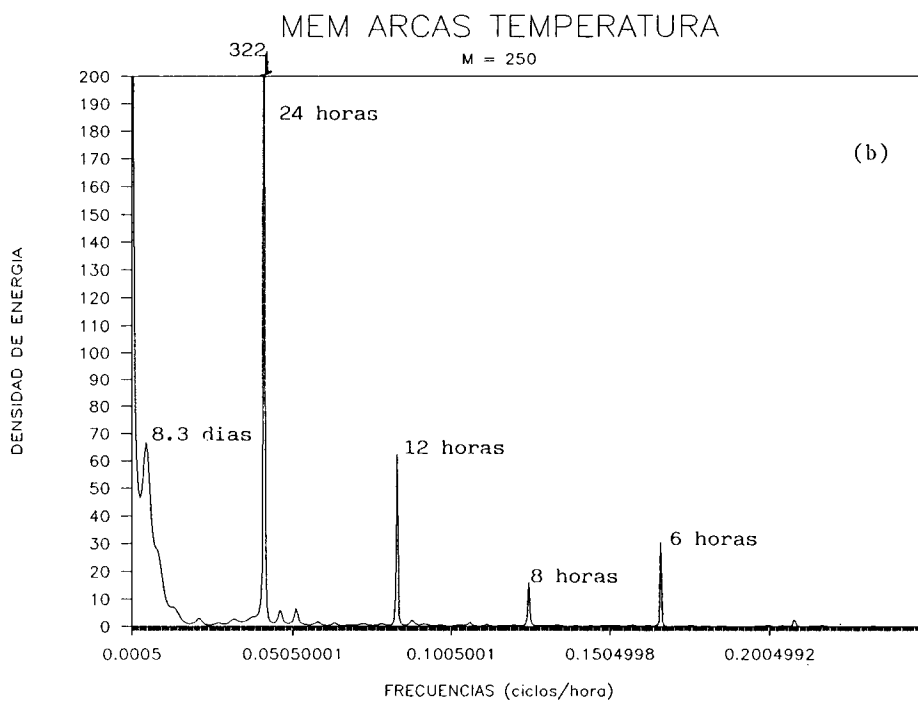


Fig. 9b. Espectro de energía (MEM) de la serie de temperatura de la estación Cayo Arcas.

en frecuencias (Peña *et al.*, 1980) y FFT presenta fuertes ventajas para definir los máximos de densidad espectral, esto es para determinar la importancia relativa de un evento con respecto a otro (Box y Jenkins, 1976; Papoulis, 1978). Para una adecuada descripción de los métodos FFT y MEM ver Claerbout (1976). En nuestro caso se obtuvieron los mejores resultados para MEM con un número de polos de 250 ( $M=250$ ) y en FFT con un número óptimo  $\nu$  de 12 ( $NU=12$ ).

Los espectros de las series de temperatura (Figs. 9a y b) muestran la existencia de picos con periodos en 6, 8, 12 y 24 horas con los dos métodos usados, adicionalmente MEM muestra un

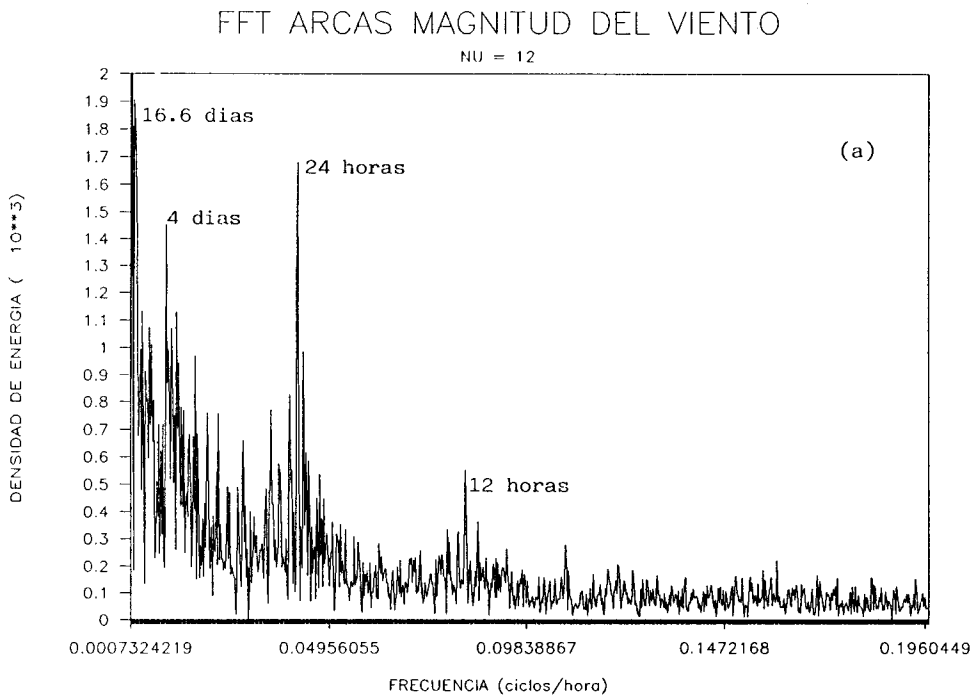


Fig. 10a. Espectro de energía (FFT) de la serie de magnitud del viento en la estación Cayo Arcas.

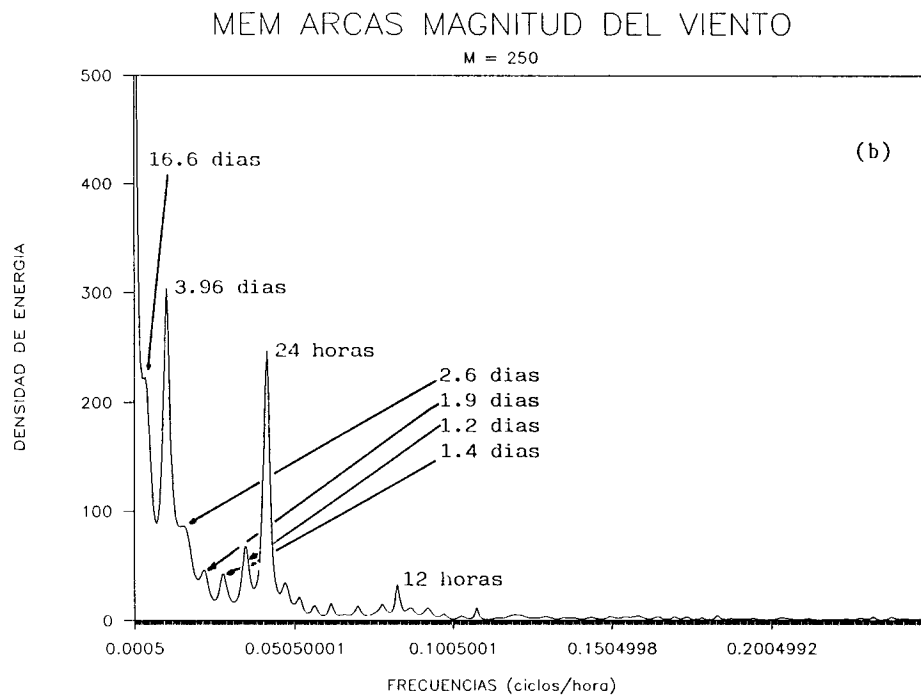


Fig. 10b. Espectro de energía (MEM) de la serie de magnitud del viento en la estación Cayo Arcas.



pico en 8.3 días, el cual no fue claramente identificado mediante FFT. El análisis de los espectros de la magnitud del viento (Figs. 10a y b), presenta periodos en 12 y 24 horas y en 4 y 16.6 días con ambos métodos, teniéndose, en el caso de MEM cuatro periodos adicionales en 2.6, 1.9, 1.4 y 1.2 días. La serie de datos correspondientes a presión atmosférica muestra, mediante análisis espectral (Figs. 11a y b), periodos de 12 y 24 horas y de aproximadamente 14 y 5.5 días, observándose en este caso en el resultado de FFT un pico en 8 horas y con MEM otro en

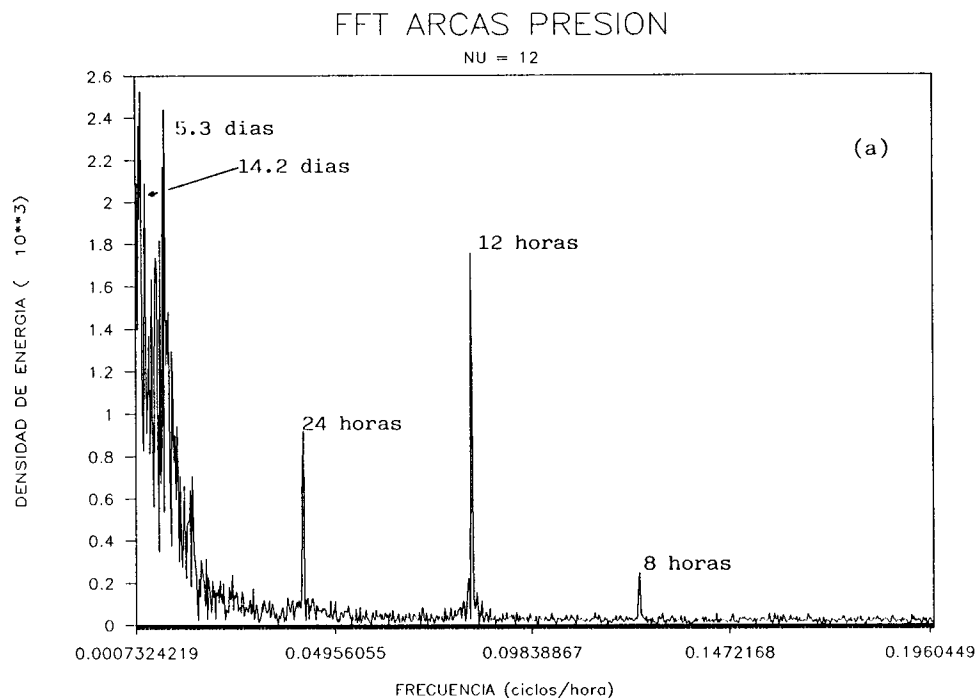


Fig. 11a. Espectro de energía (FFT) de la serie de presión en la estación Cayo Arcas.

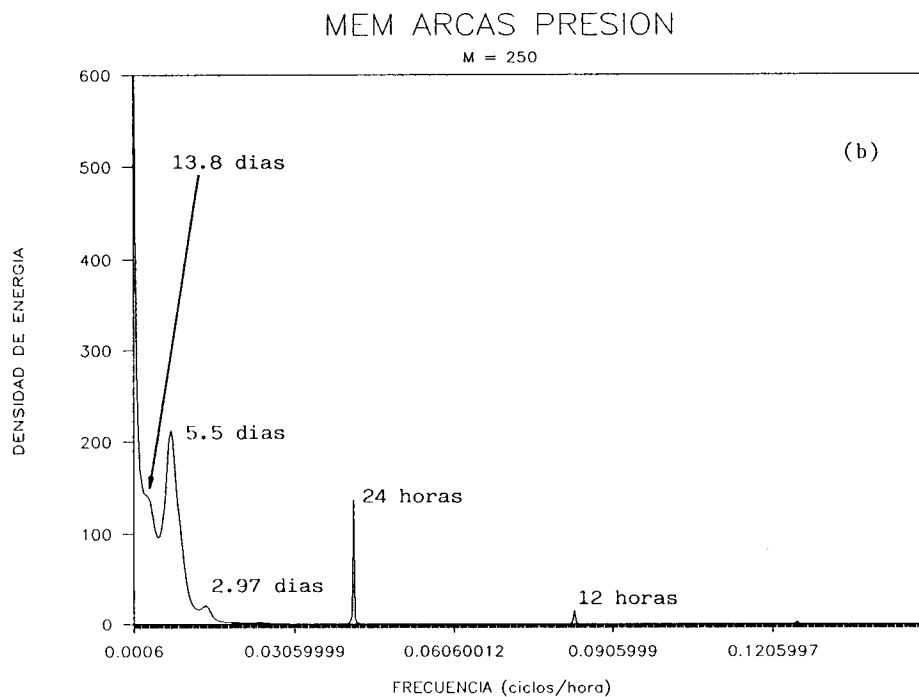


Fig. 11b. Espectro de energía (MEM) de la serie de presión en la estación Cayo Arcas.

aproximadamente 3 días. En el caso de radiación (Figs. 12a y b), ambos métodos de análisis coinciden en mostrar periodos de oscilación en 6, 8, 12 y 24 horas. Por último, para humedad relativa (Figs. 13a y b), se observan picos en 12 y 24 horas con ambos métodos, adicionalmente MEM da un pico en 7.3 días y FFT resalta los periodos de 6 y 8 horas.

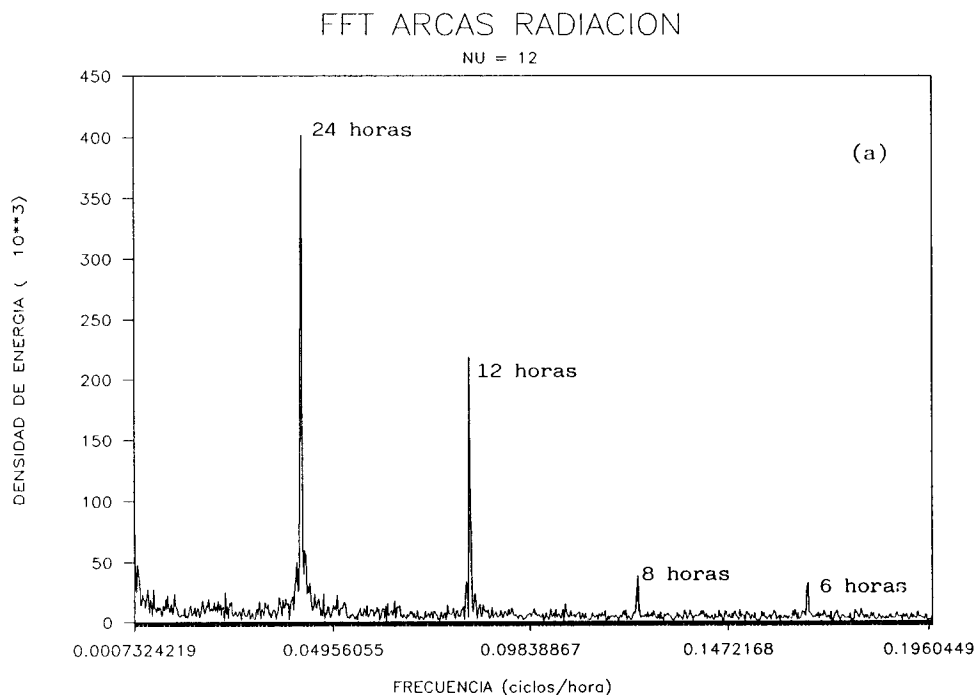


Fig. 12a. Espectro de energía (FFT) de la serie de radiación en la estación Cayo Arcas.

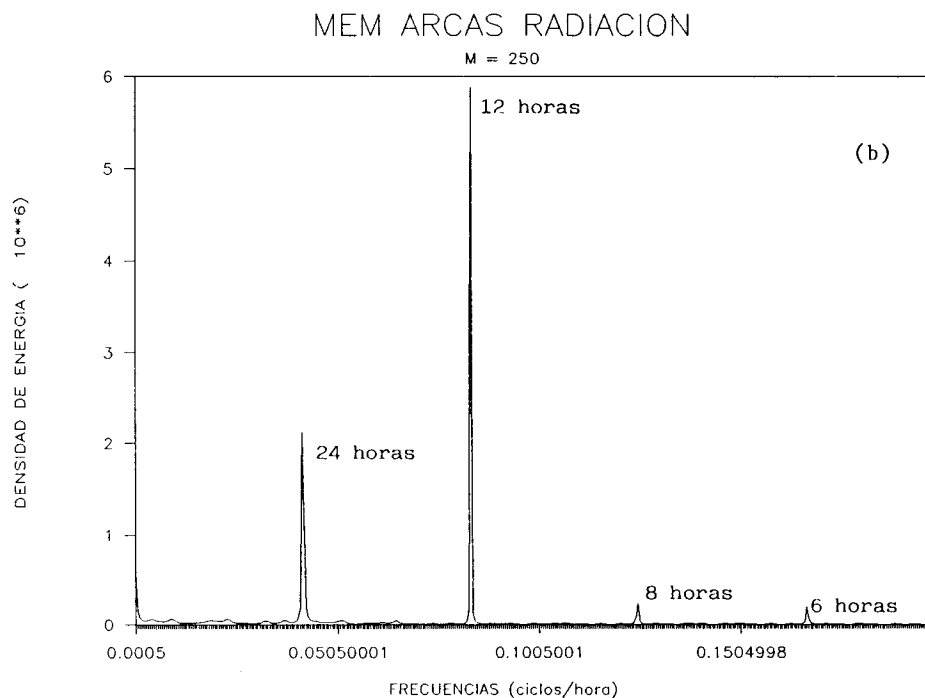


Fig. 12b. Espectro de energía (MEM) de la serie de radiación en la estación Cayo Arcas.

Con los resultados obtenidos se elaboró la Tabla I, en la cual se muestran sólo los periodos resultantes tanto con FFT como con MEM. En esta tabla se puede ver que para todos los parámetros analizados se obtienen oscilaciones con periodos de 12 y 24 horas. La temperatura y la radiación tienen oscilaciones adicionales de 6 y 8 horas, en tanto que la magnitud del viento muestra oscilaciones a 96 y 398 horas, además de las de 12 y 24 horas. La presión atmosférica presenta periodos adicionales de 132 y 336 horas.

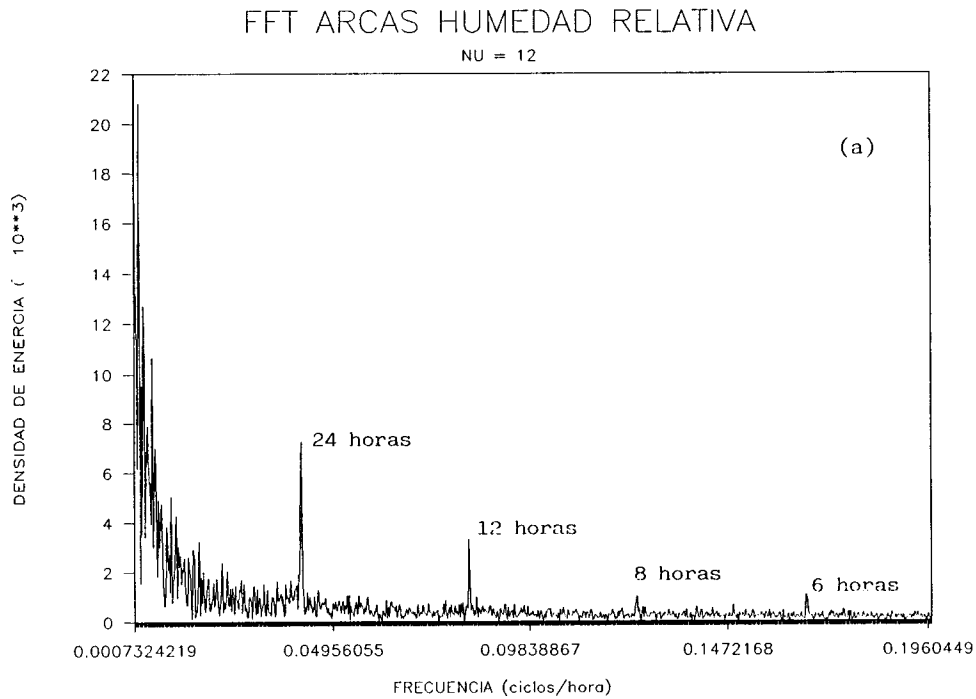


Fig. 13a. Espectro de energía (FFT) de la serie de humedad relativa en la estación Cayo Arcas.

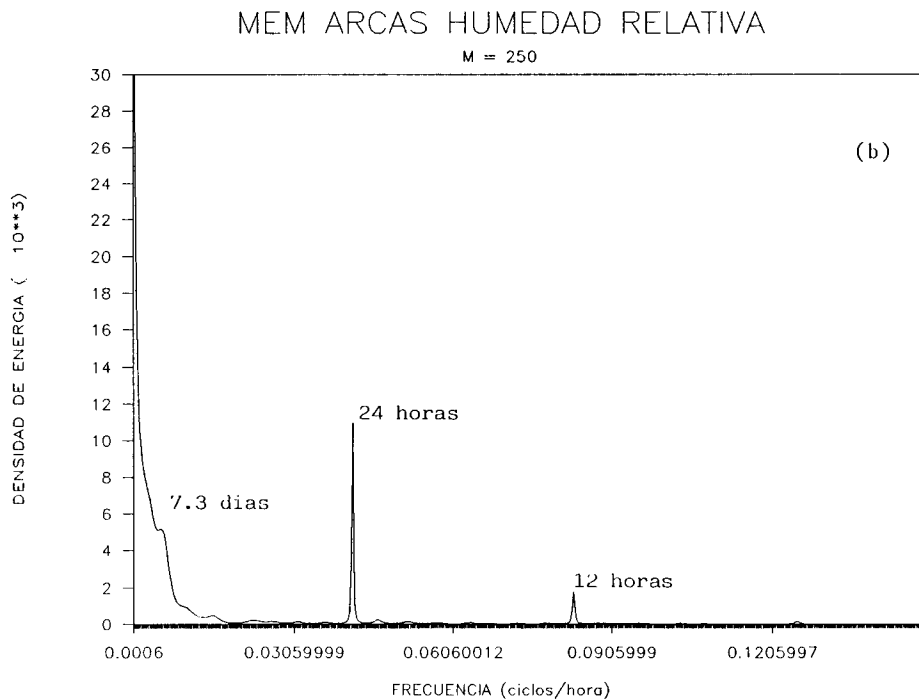


Fig. 13b. Espectro de energía (MEM) de la serie de humedad relativa en la estación Cayo Arcas.

TABLA I  
PERIODOS DE OSCILACION DE PARAMETROS METEOROLOGICOS

PARAMETRO	PERIODO (horas)					
TEMPERATURA	6	8	12	24		
MAGNITUD DEL VIENTO			12	24	96	398
PRESION			12	24	132	336
RADIACION	6	8	12	24		
HUMEDAD RELATIVA			12	24		

#### 4. Discusión y conclusiones

Las series observadas y analizadas muestran en general la existencia de procesos con periodos de 12 y 24 horas los cuales están asociados a un sistema local de brisas. La temperatura y la radiación presentan oscilaciones a frecuencias más altas, 6 y 8 horas. Los resultados obtenidos de la serie de presión muestran que la variación de dicho parámetro está determinada principalmente por la suma de una componente diurna y una semidiurna, dichas componentes son el resultado de la marea atmosférica conocida como marea barométrica y los efectos de calentamiento y enfriamiento atmosférico (Atkinson, 1971); en este caso la temperatura responde a un factor de calentamiento inducido por la radiación, sería de esperarse un efecto similar en la presión; sin embargo, los resultados de FFT y de MEM no son muy claros en relación a esto; FFT muestra un pico bien definido en 8 horas en tanto que en MEM éste es prácticamente nulo y en ninguno de los dos casos se obtiene un pico en 6 horas, este tipo de oscilaciones son típicas de las regiones tropicales y afectan grandes áreas (Hernández Yzal, 1968). Los cambios de temperatura están íntimamente relacionados con las variaciones de la radiación, la primera consiste principalmente en una manifestación de la segunda; por otro lado, la cantidad de humedad contenida en el aire está en función de la temperatura, lo cual se manifiesta con periodos de 6 y 8 horas con FFT. En el caso de la magnitud del viento, adicionalmente a las oscilaciones en 12 y 24 horas se observan picos en aproximadamente 4 y 16.6 días, cuyos factores de forzamiento pueden ser debidos a procesos a escala mayor que la local ya que ningún otro parámetro presentó oscilaciones similares. En cuanto a la incidencia del viento durante el tiempo de muestreo, fue predominantemente del Norte y noreste, coincidiendo con los resultados mostrados por Tápanes y González Coya (1980), quienes observan para la zona de estudio en general, vientos con procedencia del noreste y velocidad media de 4.1 m/s, mientras que durante los meses de noviembre a marzo la procedencia del viento, observada por estos autores es del Norte, con una velocidad media de 5.6 m/s.

#### Agradecimientos

Agradecemos a J. J. Díaz Pérez, M. A. Alatorre Mendieta, T. Arizpe y a la tripulación del B/O Justo Sierra por su apoyo en la colocación de la estación meteorológica. Este trabajo fue financiado por la UNAM/DGAPA mediante el contrato IN209789.

#### REFERENCIAS

Adem, J., V. M. Mendoza, E. E. Villanueva Urrutia y M. A. Monreal Gómez, 1991. On the

- simulation of the sea surface temperature in the Gulf of Mexico using a thermodynamic model. *Atmósfera* 4, pp. 87-99.
- Atkinson, M. G. D., 1971. Forecasters' guide to tropical meteorology. Technical Report 240. Air Weather Service (MAC) United States Air Force.
- Box, G. E. P. and G. M. Jenkins, 1976. Time series analysis: Forecasting and control. San Francisco, CA Holden Day.
- Burg, J. P., 1972. The relationship between Maximum Entropy Spectra and Maximum Likelihood Spectra. *Geophysics*, Vol. 37, No.2, pp. 375-376.
- Claerbout, J. F., 1976. Fundamentals of geophysical data processing: with applications to petroleum prospecting. McGraw-Hill, 274 pp.
- DiMego, G. J., L. F. Bosart y G.W. Endersen, 1976. An examination of the frequency and mean conditions surrounding frontal incursions into the Gulf of Mexico and Caribbean Sea. *Mon. Wea. Rev.*, 104, pp. 709-718.
- Hernández Yzal, S., 1968. Meteorología y oceanografía. Ed. Cadi, 781pp.
- Merrell, W. J. y J. M. Morrison, 1981. On the circulation of the Western Gulf of Mexico with observations from April 1978. *J. Geophys. Res.*, 86, pp. 4181-4185.
- Monreal Gómez, M. A. y D. A. Salas de León, 1985. Barotropic and baroclinic modes in the Gulf of Mexico. En *Proc. Symp. on Oceanology*. Bruxelles, pp. 81-91.
- Monreal Gómez, M. A. y D. A. Salas de León, 1990. Simulación de la circulación en la Bahía de Campeche. *Geofís. Int.* 29, No. 2, pp. 101-111.
- Papoulis, A., 1978. Sistemas digitales y analógicos, transformadas de Fourier, estimación espectral. Marcombo, Boixareu (Eds.), 308 pp.
- Peña, H. G., R. O. Plaisted, T. F. S. Ocampo y C. Nava, 1980. Estimación espectral de ondas oceánicas por Máxima Entropía. *Geofís. Int.*, 19, No. 2 pp. 145-166.
- Rhodes, R. C., A. J. Wallcraft and J. D. Thompson, 1985. Navy corrected geostrophic wind set for the Gulf of Mexico. Tech. Note U. S. Nav. Ocean. Res. Dev. Activity, 109 pp.
- Salas de León, D. A. y M. A. Monreal Gómez, 1986. The role of the Loop Current in the Gulf of Mexico fronts. En *Marine Interfaces Ecohydrodynamics*, J. C. J. Nihoul (Ed.). Elsevier, pp. 295-300.
- Tápanes, J. J. y F. González Coya, 1980. Hidrometeorología del Golfo de México y Banco de Campeche. *Geofís. Int.*, 19 No.4, pp. 335-354.
- Vázquez de la Cerda, A. M., 1982. Vientos, estado del mar y mar de fondo en el Golfo de México. Secretaría de Marina, México, D. F., 67 pp.
- Villanueva Urrutia, E. E., 1991. Predicción de anomalías de temperatura superficial en el Golfo de México. Tesis doctoral, UACPyP/CCH de la UNAM, 97 pp.