



**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE
BAJA CALIFORNIA**

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS



**"CAMBIOS DE TEMPERATURA EN LA
BAHIA DE TODOS
SANTOS DURANTE OTOÑO-INVIERNO 91-92"**

TESIS
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
OCEANOLOGO
PRESENTA:
LAURA E. CARRILLO BIBRIEZCA

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

**"CAMBIOS DE TEMPERATURA EN LA BAHIA DE TODOS
SANTOS DURANTE OTOÑO-INVIERNO 91-92"**

TESIS
QUE PARA OBTENER EL TITULO
DE
OCEANOLOGO
PRESENTA:
LAURA E. CARRILLO
BIBRIEZCA

ENSENADA, BAJA CALIFORNIA.

AGOSTO DE 1993.

RESUMEN

Se analizan series de tiempo de temperatura de las estaciones Isla y la Jolla en la Bahía de Todos Santos, B.C., registradas con termógrafos digitales submarinos, TDS-1, de viento medido en Punta Morro, B.C. y marea de predicción para el Puerto de Ensenada, B.C. Se encuentra que la temperatura promedio máxima en los meses analizados corresponde a octubre y la mínima a enero para ambas estaciones, observando mayor variabilidad en otoño. Para esta misma estación los datos indican la posible propagación de la señal diurna de la estación La Jolla a la Isla con un desfase de 1.74 hrs. y en sentido opuesto para la banda semidiurna con 2.33 hrs. de desfase. La mayor variabilidad de temperatura se observó en la Isla, estación que está mas expuesta a los efectos dinámicos de mar abierto. En otoño se observa influencia del viento y la marea en los cambios diurnos y semidiurnos no siendo posible determinar la participación energética de cada uno con el método utilizado.

**"CAMBIOS DE TEMPERATURA EN LA BAHIA DE TODOS
SANTOS DURANTE OTOÑO-INVIERNO 91-92"**

TESIS

QUE PRESENTA:

LAURA E. CARRILLO BIBRIEZCA

APROBADA POR:



PRESIDENTE DEL JURADO

MC. OSCAR EDUARDO DELGADO GONZALEZ



SINODAL PROPIETARIO

MC. JOSE ANTONIO MARTINEZ ALCALA



SINODAL PROPIETARIO

MC. LUIS FERNANDO ZAMUDIO LOPEZ

DEDICATORIA

A mis padres Trini y Laura, por su amor y comprensión hacia mi ciencia.

A mi hermana "Sacamuelas" Bety.

A mi hermano Trini.

A mi gran amiga Celia, por su valiosa amistad.

A Chayo, Martha y Dania que nuestra amistad perdure muchos, pero muchos años.

Al incondicional Marito.

A mis compañeras Magui e Irma.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto de Investigaciones Oceanológicas y a la Universidad Autónoma de Baja California por el apoyo brindado para el desarrollo y realización de este trabajo.

En especial a mi director de tesis M.C. Oscar E. Delgado González, por sus críticas, recomendaciones y su incondicionable ayuda prestada para realizar esta tesis.

A mis sinodales M.C. Antonio Martínez y M.C. Luis F. Zamudio por sus valiosas críticas y sugerencias.

Al personal del departamento de Oceanografía Física de IIO, por transmitirme sus experiencias, en especial a los técnicos.

A todos mis maestros.

A todos ellos, gracias.

INDICE

	Página
LISTA DE TABLAS.	ii
LISTA DE FIGURAS.	iii
1 INTRODUCCION.	1
1.1 ANTECEDENTES.	2
1.2 OBJETIVO.	5
2 DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO.	6
3 MATERIALES Y METODO.	8
4 RESULTADOS.	12
5 DISCUSIONES.	39
6 CONCLUSIONES.	42
7 LITERATURA CITADA.	43

LISTA DE TABLAS

Tabla		Página
I	Estadística básica para Isla (10m).	15
II	Estadística básica para La Jolla (10m).	15

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Area de estudio y localización de las estaciones de medición en la Bahía de Todos Santos, Baja California, México. a) Isla, b) La Jolla y c) Punta Morro.	7
2	Serie de tiempo de temperatura para la estación Isla en la Bahía de Todos Santos, B.C., del 20 de septiembre de 1991 al 21 de febrero de 1992, con un intervalo de muestreo de 1 h. a) 5m y b) 10m.	13
3	Serie de tiempo de temperatura para la estación La Jolla en la Bahía de Todos Santos, B.C., del 20 de septiembre de 1991 al 21 de febrero de 1992, con un intervalo de muestreo de 1 h. a) 5m y b) 10m.	14
4	Predicción de marea para el Puerto de Ensenada, B.C., del 20 de septiembre de 1991 al 21 de febrero de 1992, con un $dt = 1$ h.	16
5	Serie de tiempo de viento medido en Punta Morro, B.C. El intervalo de tiempo entre cada vector es de 1 h. a) del 20 de septiembre de 1991 al 30 de noviembre de 1991 y b) del 1o. de diciembre de 1991 al 21 de febrero de 1992.	17
6	Espectro de potencia, espectro cruzado, coherencia y fase para las temperaturas a 10m en las estaciones Isla y La Jolla, correspondiente a otoño 1991.	18
7	Espectro de potencia, espectro cruzado y coherencia para la temperatura a 10m en la estación Isla y marea, correspondiente al mes de septiembre de 1991.	19
8	Espectro de potencia, espectro cruzado y coherencia para la temperatura a 10m en la estación Isla y marea, correspondiente al mes de noviembre de 1991.	20

9	Espectro de potencia, espectro cruzado y coherencia para la temperatura a 10m en la estación Isla y marea, correspondiente al mes de diciembre de 1991.	21
10	Espectro de potencia, espectro cruzado y coherencia para la temperatura a 10m en la estación La Jolla y marea, correspondiente al mes de septiembre de 1991.	22
11	Espectro de potencia, espectro cruzado y coherencia para la temperatura a 10m en la estación la Jolla y marea, correspondiente al mes de octubre de 1991.	23
12	Espectro de potencia, espectro cruzado y coherencia para la temperatura a 10m en la estación La Jolla y marea, correspondiente al mes de noviembre de 1991.	24
13	Espectro de potencia, espectro cruzado y coherencia para la temperatura a 10m en la estación La Jolla y marea, correspondiente al mes de enero de 1992.	25
14	Espectro de potencia, espectro cruzado y coherencia para la temperatura a 10m en la estación La Jolla y marea, correspondiente al mes de febrero de 1992.	26
15	Espectro de potencia, espectro cruzado y coherencia para la temperatura a 10m en la estación Isla y componente u del viento, correspondiente al mes de septiembre de 1991.	27
16	Espectro de potencia, espectro cruzado y coherencia para la temperatura a 10m en la estación Isla y componente u del viento, correspondiente al mes de octubre de 1991.	28
17	Espectro de potencia, espectro cruzado y coherencia para la temperatura a 10m en la estación Isla y componente u del viento, correspondiente al mes de enero de 1992.	29
18	Espectro de potencia, espectro cruzado y coherencia para la temperatura a 10m en la estación Isla y componente u del viento, correspondiente al mes de febrero de 1992.	30

- | | | |
|----|--|----|
| 19 | Espectro de potencia, espectro cruzado y coherencia para la temperatura a 10m en la estación La Jolla y componente u del viento, correspondiente al mes de septiembre de 1991. | 31 |
| 20 | Espectro de potencia, espectro cruzado y coherencia para la temperatura a 10m en la estación La Jolla y componente u del viento, correspondiente al mes de noviembre de 1991. | 32 |
| 21 | Espectro de potencia, espectro cruzado y coherencia para la temperatura a 10m en la estación La Jolla y componente u del viento, correspondiente al mes de enero de 1992. | 33 |

1 INTRODUCCION.

La importancia de contar con información de temperatura para alguna zona en particular, radica no sólo en el hecho del conocimiento ó desarrollo científico, sino en el desarrollo económico de la región en cuestión, ya que la temperatura oceánica juega un papel significativo en algunos aspectos ecológicos, como lo son el comportamiento de manchas de peces pelágicos y los períodos larvales y reproductivos de especies con alto valor comercial entre otros, es decir, es un parámetro decisivo en los ciclos de vida oceánica, de lo cual se desprende su relación con los proyectos acuícolas y su repercusión en la economía de una zona. Por otro lado, no está de más mencionar que las pesquerías de túnidos se han visto favorecidas por la interpretación adecuada de imágenes de temperatura oceánica superficial captadas con satélite, hecho que marca nuevas razones para continuar registrando temperaturas del mar.

Además de su importancia potencial en el desarrollo comercial, su conocimiento es de gran utilidad para determinar la profundidad adecuada de instalación de los emisores submarinos, ya que su información complementada con la salinidad, permite determinar el grado de estratificación de la columna de agua.

Considerando los aspectos anteriores, es conveniente conocer la temperatura en una zona de estudio (valores medios, máximos y mínimos), su variación en el tiempo (cambios estacionales, mensuales, diurnos, etc.) y los principales factores que la modifican.

Los cambios de temperatura en las capas oceánicas superficiales, son función de diversos mecanismos naturales, entre los cuales podemos mencionar al calentamiento solar, las corrientes, los movimientos verticales y horizontales de aguas subsuperficiales, la marea y el viento, principalmente. Los registros continuos de temperatura oceánica, además de crear antecedentes, permiten observar las variaciones asociadas a los mecanismos antes mencionados, es decir, variaciones diurnas, mensuales, estacionales y de periodos mayores.

Este trabajo está enfocado a conocer y explicar las variaciones diurnas y mensuales de la temperatura superficial registrada en la Bahía de Todos Santos (BTS), tomando en cuenta la carencia de conocimiento de las dos variaciones mencionadas. Observando esta necesidad se propone como hipótesis del presente trabajo, que el viento y el nivel de marea, son los principales agentes que generan dichas variaciones. Para probar tal hipótesis se realizará un análisis espectral ordinario y cruzado.

El resto del escrito continua con una recopilación de los trabajos de temperatura relacionados con el área de estudio, la cual se describe inmediatamente después. Anterior a la sección de discusiones, se hace una descripción de los resultados, los cuales se presentan empleando gráficos y valores tabulados. En la última sección se presentan las conclusiones del presente trabajo.

1.1 ANTECEDENTES.

El primer estudio oceanográfico de la Bahía de Todos Santos, B.C., lo realizó Walton en 1955, (citado por Morales, 1977), quien reportó los primeros valores de temperatura y salinidad para explicar la ecología de los foraminíferos bentónicos en la zona.

Cabrera Muro (1971) estudió la distribución de la temperatura en la Bahía de Todos Santos, B.C., cubriendo a la bahía mediante una red de transectos y estaciones con mediciones mensuales a 0, 5, 10, 20 y 30 m de profundidad, encontrando que las aguas del Estero de Punta Banda influyen en la distribución de temperaturas en la región aledaña a la boca. La mayor temperatura la registró durante el mes de agosto, e indicó que la termoclina superficial se encontró más profunda en agosto que durante junio, julio y septiembre.

Otro trabajo de temperatura es el de Morales (1977), quien estudió las variaciones estacionales empleando 5 mediciones mensuales de 33 estaciones distribuidas en la bahía. Encontró que la temperatura se vió afectada tanto por el aumento y descenso de la temperatura estacional como por

las surgencias, además encontró que la temperatura máxima fué en agosto, la mínima en febrero y una termoclina bien desarrollada en junio, resultados similares a los reportados por Cabrera Muro (1971).

Amador (1975) y Chávez (1975) infirieron la zona de surgencias fuera de la Bahía de Todos Santos empleando a la temperatura y salinidad como indicadores, sin embargo, no presentaron evidencias de su posible efecto en la bahía. En contraste, el efecto térmico del Estero de Punta Banda fué delimitado por Contreras (1973) para los meses de verano. Sus resultados indican un efecto localizado a la zona aledaña a la boca del Estero. Ramos (1985) utilizó 7 días de información de temperatura, salinidad, corrientes y nivel de marea en la boca del Estero para buscar su posible relación. Encontró cierta relación estadística entre tales parámetros, sin embargo, no es clara tal relación.

El primer estudio que cubrió un ciclo anual completo de mediciones de temperatura lo realizaron Grijalva et al (1985), quienes reportaron datos mensuales de temperatura y transparencia del agua en 7 estaciones distribuidas en la bahía. Con el análisis de sus resultados, dividieron a la bahía en tres zonas: una con mayor temperatura y poca transparencia, otra intermedia y la última con baja temperatura y mayor transparencia.

Martínez (1988) con el fin de determinar las variables hidrológicas implicadas en el diseño de un emisor submarino, presentó mediciones mensuales de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y nutrientes los cuales cubren el período marzo 1986-mayo 1987, teniendo poco más de un ciclo anual de mediciones mensuales.

Alvarez Borrego (1982) realizó análisis de variaciones de temperatura con la marea, para las lagunas costeras de Bahía San Quintín y el Estero de Punta banda, durante un año completo de series continuas de temperatura, encontrando que el ciclo de temperatura es en general semidiurno, debido a las mareas.

El común denominador en la mayoría de los trabajos realizados en la bahía, es la falta de uniformidad en tiempo y procedimiento para la toma de muestras de temperatura, situación que de algún modo originó la idea de instalar termógrafos dentro de la BTS. La información que se presenta corresponde a los primeros resultados de los termógrafos fabricados en la UABC.

A continuación se hace una breve reseña de estudios que describen climatológicamente a la Bahía de Todos Santos. Los vientos dominantes son del noroeste con velocidad promedio de 4 m/s, teniéndose mayor variación en otoño e invierno (Alvarez Sánchez, 1977). Se presenta un sistema de brisa típico caracterizado por viento de mar a tierra durante el día y viceversa en la noche, con dirección variable y baja intensidad, viéndose afectado este régimen por vientos en escala sinóptica (Pavía López, 1978). Esta área costera se vé afectada ocasionalmente por vientos secos del noreste con velocidades típicas de 7 a 11 m/s y con humedad relativa de 30% ó menos, conocidos como Santa Ana y acompañado de temperaturas que son generalmente a lo menos 9 °C más calientes que el promedio mensual (de Violini, 1974).

Las aguas de la Bahía de Todos Santos son parte del sistema de la corriente de California, aguas frías y poco salinas, y presentan eventos anuales de surgencia (primavera y verano) de aguas frías y ricas en nutrientes (Mancilla y Martínez, 1991).

1.2 OBJETIVO.

Buscar la posible relación de los cambios de temperatura con el viento y la marea, durante otoño-invierno 91-92, en dos estaciones de la Bahía de Todos Santos, B.C.

2 DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO.

La Bahía de Todos Santos (Fig. 1) se encuentra localizada en la costa noroeste de Baja California ubicada entre los 31° 40' y 31° 55' N y 116° 36' y 116° 50' W. Es una bahía abierta con un área aproximada de 180 km^2 . Sus límites naturales son, al sur Punta Banda, que es rocosa y montañosa, al oeste por las Islas de Todos Santos, al norte por Punta San Miguel. La bahía tiene 2 comunicaciones con el Pacífico, una formada entre Punta San Miguel y la Isla norte, con 12km de ancho y con profundidades menores a 50 m y la otra formada entre la Isla sur y Punta Banda, con 6 km de ancho y una profundidad máxima de aproximadamente 400 m. En general la BTS presenta profundidad promedio de 30 m.

En la parte noreste de la bahía se encuentra la ciudad de Ensenada, y al sureste se encuentra el Estero de Punta Banda, que es una laguna costera separada de la bahía por una barra arenosa que se extiende perpendicular a Punta Banda con una distancia aproximada de 7.5 km. El estero se caracteriza por un canal principal en forma de "L" ,con un ancho promedio, dependiendo del nivel de mareas, de 800m y una profundidad máxima de 7m en la boca (De la Paz, 1978).

Se describe el clima de la región como tipo mediterráneo, donde los veranos son frescos y los inviernos tibios, al compararlo con localidades de igual latitud. Las características del clima dominante son controladas por el centro de alta presión semipermanente en el Pacífico Norte subtropical, que durante el verano se hace más intenso y migra hacia el norte, restringiendo las escasas tormentas que se desarrollan en esta estación, debilitándose en invierno y regresando al sur permitiendo la entrada de tormentas a esta zona (US. Navy, 1983).

Las costas afectadas por la corriente de California se distinguen por la presencia de la capa atmosférica marina, cuyo espesor es aproximadamente de 300m y donde presenta una inversión del orden de 10 grados, afectando el movimiento vertical del aire, las nubes y los vientos en la baja atmósfera (Dorman, 1991).

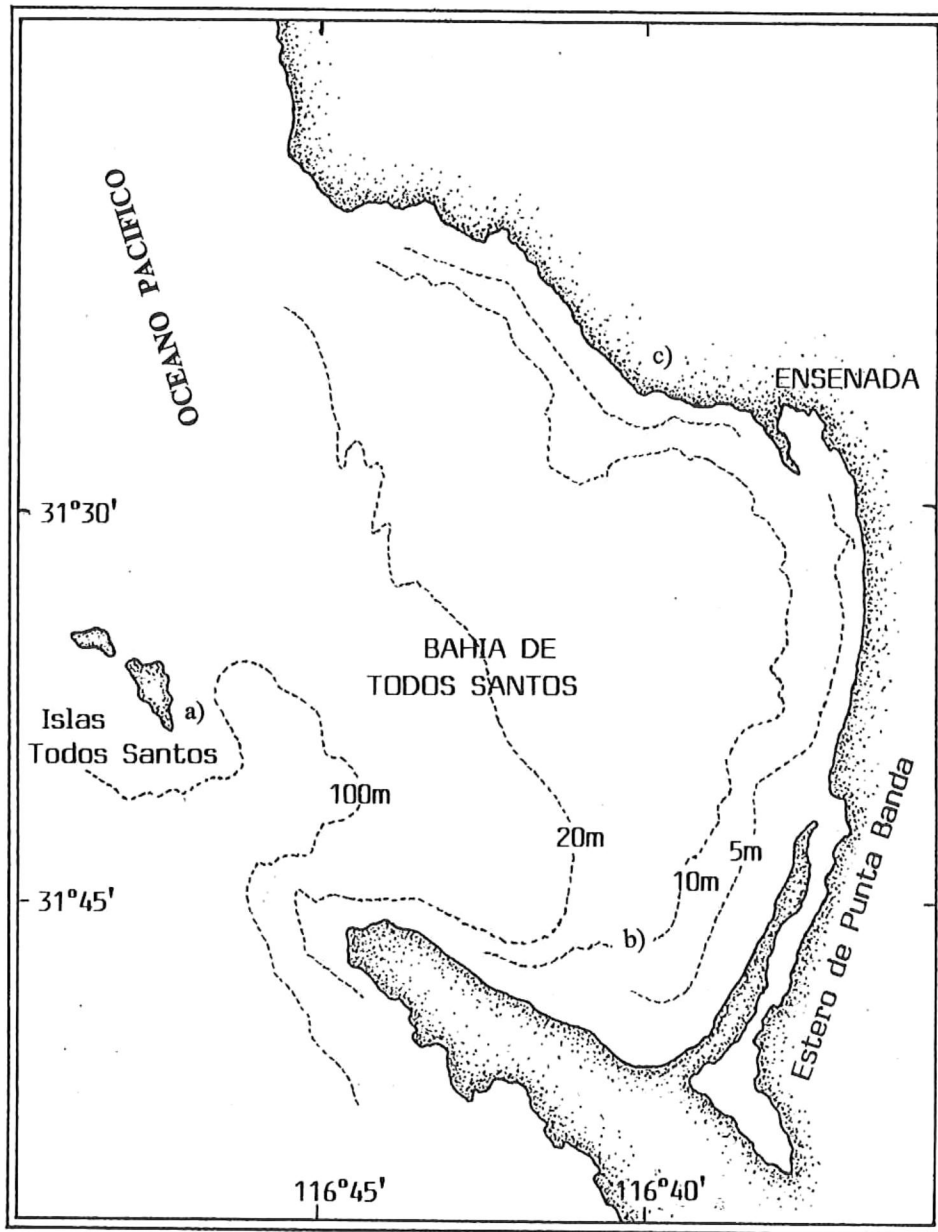


Fig. 1. Area de estudio y localización de las estaciones de medición en la Bahía de Todos Santos, Baja California, México. a) Isla, b) La Jolla y c) Punta Morro.

3 MATERIALES Y METODO.

Se dispone de datos de temperatura superficial medidos en la BTS. La información fué registrada con termógrafos modelo TDS-1 pertenecientes al Departamento de Oceanografía Física del Instituto de Investigaciones Oceanológicas de la UABC. Las mediciones corresponden a una jornada cuyos detalles se explican a continuación.

Se instalaron dos termógrafos en la estación La Joya y dos en la estación Isla (Fig. 1), ambos a 5 y 10 metros de profundidad con un intervalo de muestreo de 15 minutos y estuvieron operando del 19 de septiembre de 1991 al 21 de febrero de 1992, es decir, 155 días. La elección de las profundidades se hizo buceando y tratando de que el termógrafo de 5 metros estuviera en la termoclina y el de 10 metros sobre el fondo.

Se cuenta con datos de dirección y magnitud del viento obtenidos de una estación meteorológica AANDERAA instalada en Punta Morro, esta estación funciona de manera autónoma, registrando rapidez y dirección del viento y presión atmosférica. La altura de la medición es de 10 metros sobre el nivel medio del mar con un intervalo de medición de 1 hora. El período de medición incluye los días en que se registró la temperatura.

Se cuenta además con las alturas horarias de la marea predicha calculados con un programa otorgado por el Departamento de Mareografía del C.I.C.E.S.E..

Los métodos utilizados en este trabajo fueron análisis estadísticos en el dominio del tiempo y de la frecuencia.

En el dominio del tiempo se obtuvieron las estadísticas básicas (media, desviación estandar, varianza, máximos y mínimos) de los datos de temperatura, con el propósito de reportar los valores observados y comparar contra valores reportados con anterioridad.

En el dominio de frecuencia se utilizó el análisis espectral ordinario (espectro de potencia) y el análisis espectral cruzado. Tal transformación a los datos, ayuda a identificar la presencia y posible contribución de los principales mecanismos que producen los cambios de temperatura. Del

análisis espectral cruzado se obtuvo la densidad espectral cruzada, la coherencia y la fase entre las series de temperatura, marea y viento. En el caso de la fase, sólo se analizó entre los registros de temperatura, dado la posición relativa de los instrumentos y el desconocimiento espacial del comportamiento de los vientos y marea. Para cada frecuencia, la densidad espectral cruzada proporciona información de las frecuencias de mayor contenido energético de las series cruzadas, la coherencia indica si la perturbación o señal en las series analizadas es común y la fase el tiempo que tarda en propagarse dicha perturbación de una estación a otra.

La forma en que se calcula el espectro de potencia es utilizando la transformada rápida de Fourier (FFT) con la siguiente secuencia:

- 1) Se remueven la media y la tendencia lineal a los datos.
- 2) Se pasan los datos por una ventana coseno donde los valores extremos son reducidos a un décimo de su valor.
- 3) Dependiendo del número de datos se truncan o se agregan ceros tal que el número de datos sea potencia de 2.
- 4) Se calcula la transformada rápida de Fourier (FFT) utilizando el procedimiento de Cooley-Tukey descrito en Bendat & Piersol (1971).
- 5) Se obtiene el espectro de potencia de los datos tal que;

$$G_k = \frac{2}{Nh} |X(f_k, T)|^2 \text{ para } k = 0, 1, \dots, N-1.$$

Donde:

G_k = espectro de potencia

h = intervalo de muestreo

N = número de datos

$X(f_k, T)$ = transformada de Fourier de la serie.

- 6) Se ajustan las estimaciones de espectro de potencia por el factor de escala debido a la ventana coseno 1/10 utilizada y reemplazar G_k por $(1/0.875)G_k$.

- 7) Finalmente se obtienen estimaciones suavizadas del espectro, es decir, se obtienen promedios de las estimaciones para mejorar la estabilidad del espectro, 32 bandas de frecuencia independientes para el caso mensual y 64 en el estacional.

El algoritmo para obtener espectros cruzados entre 2 series de datos mediante transformada rápida de Fourier (FFT) es el siguiente:

- 1) Se remueven la media y la tendencia lineal a los datos.
- 2) Se pasan los datos por una ventana coseno donde los valores extremos son reducidos a un décimo de su valor.
- 3) Dependiendo del número de datos se truncan o se agregan ceros tal que el número de datos sea potencia de 2.
- 4) Se toma la primera serie de datos (x_n) como la parte real de un número complejo y la segunda serie de los datos (y_n) a cruzar como la parte imaginaria, de tal forma que: $z_n = x_n + iy_n$, $n = 0, 1, \dots, N-1$.
- 5) Se calcula la FFT de los N datos dando Z_k para $k = 0, 1, \dots, N-1$, usando el procedimiento de Cooley-Tukey descrito en Bendat & Piersol (1971).
- 6) Se calcula la transformada de Fourier de las series X_k y Y_k para $k = 0, 1, \dots, N-1$ usando las ecuaciones descritas en Bendat & Piersol (1971):

$$X_k = \frac{Z^{(k)} + Z^{*(N-k)}}{2}$$

$$Y_k = \frac{Z^{(k)} - Z^{*(N-k)}}{2j}$$

para $k = 0, 1, \dots, N-1$.

Donde:

X_k .- Transformada de Fourier de la serie x.

Y_k .- Transformada de Fourier de la serie y.

*.- denota el complejo conjugado.

7) Se obtiene la densidad espectral cruzada cruda mediante la formula :

$$G_{xy}(f_k) = \frac{2h}{N} | X_k^* Y_k |$$

para $k = 0, 1, \dots, N-1$ y $f_k = k/Nh$.

Donde:

$G_{xy}(f_k)$.- densidad espectral cruzada

h.-intervalo de muestreo

N.-número de datos

*.-denota el complejo conjugado.

8) Se ajustan estas estimaciones por el factor de escala debido a la ventana coseno 1/10 utilizada,

reemplazando $G_{xy}(f_k)$ por $(1/0.875)G_{xy}(f_k)$.

9) Se mejora la estabilidad de las estimaciones espectrales realizando un promedio de 32 bandas de frecuencia independientes, en el caso mensual y 64 en el caso estacional.

10) El resultado obtenido se transforma a coordenadas polares para obtener coherencia y fase entre las 2 series.

4 RESULTADOS.

Las series de tiempo de temperatura estudiadas se muestran en las figuras 2a, 2b, 3a, y 3b, observándose oscilaciones diurnas y semidiurnas con mayor amplitud en los meses de otoño en relación a las presentadas en invierno. Este comportamiento se refleja en su estadística básica, tablas I y II, observándose valores de varianza y desviación estándar mayores en meses correspondientes a otoño que en invierno.

Los registros de temperatura a 5m de profundidad en ambas estaciones sólo funcionaron a dicha profundidad durante parte de la jornada de medición, por lo que el análisis se realizará con los registros a 10m de profundidad. El problema observado con el termógrafo de la estación La Jolla a 5m consistió en que el cable que sujetaba dicho instrumento se fué enredando hasta llegar al fondo cubriéndose de sedimento, el cual sirvió de filtro amortiguador de las señales. El termógrafo en la Isla a 5m se hundió debido a que la boya que lo sujetaba fué perdiendo flotabilidad hasta llegar al fondo, y a partir del 20 de noviembre ambos termógrafos registraron a 10m.

Se presentan además las gráficas de la marea predicha para el Puerto de Ensenada, B.C. (Fig. 4) y la de astillas para el viento medido en Punta Morro, B.C. (Fig. 5).

Los gráficos de las figuras 6 a la 21 corresponden a espectros cruzados entre las series de temperaturas, temperatura y marea y temperatura y viento. Cada figura está constituida de dos gráficos, excepto figura 6 donde se presentan tres; el primer gráfico incluye el espectro cruzado, línea gruesa y la densidad espectral de cada variable analizada, líneas delgada y quebrada respectivamente, el siguiente gráfico representa la coherencia entre las variables analizadas y el último gráfico, de la figura 6, la fase en horas. En cada uno de los gráficos correspondientes a espectros se presenta el intervalo de confianza con un 95% de confiabilidad, mediante un pequeña marca cerca del eje vertical.

A continuación se realiza una descripción de las características espectrales sobresalientes de las series de tiempo antes mencionadas.

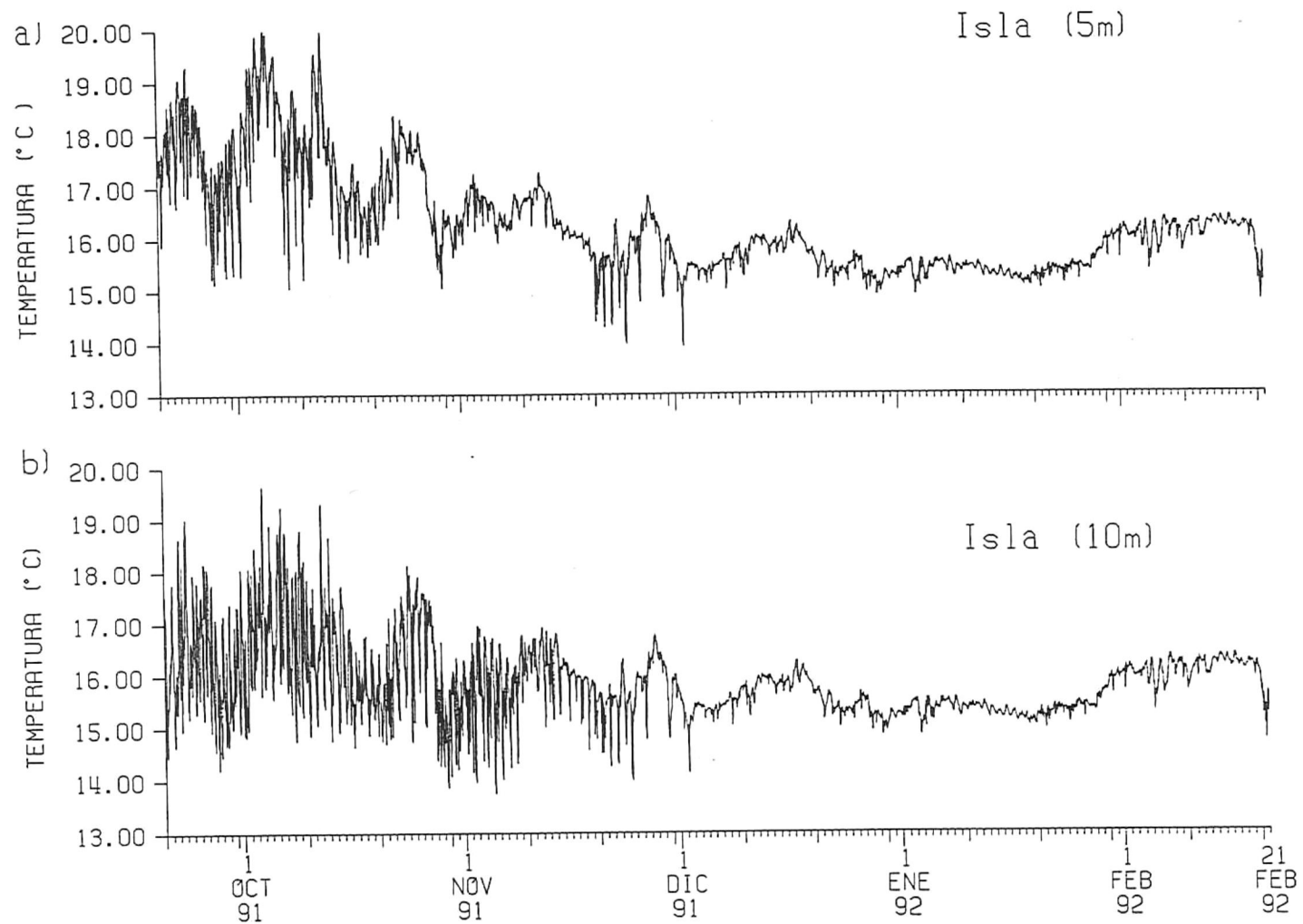


Fig. 2. Serie de tiempo de temperatura para la estación Isla en la Bahía de Todos Santos, B.C., del 20 de septiembre de 1991 al 21 de febrero de 1992, con un intervalo de muestreo de 1 h. a) 5m y b) 10m.

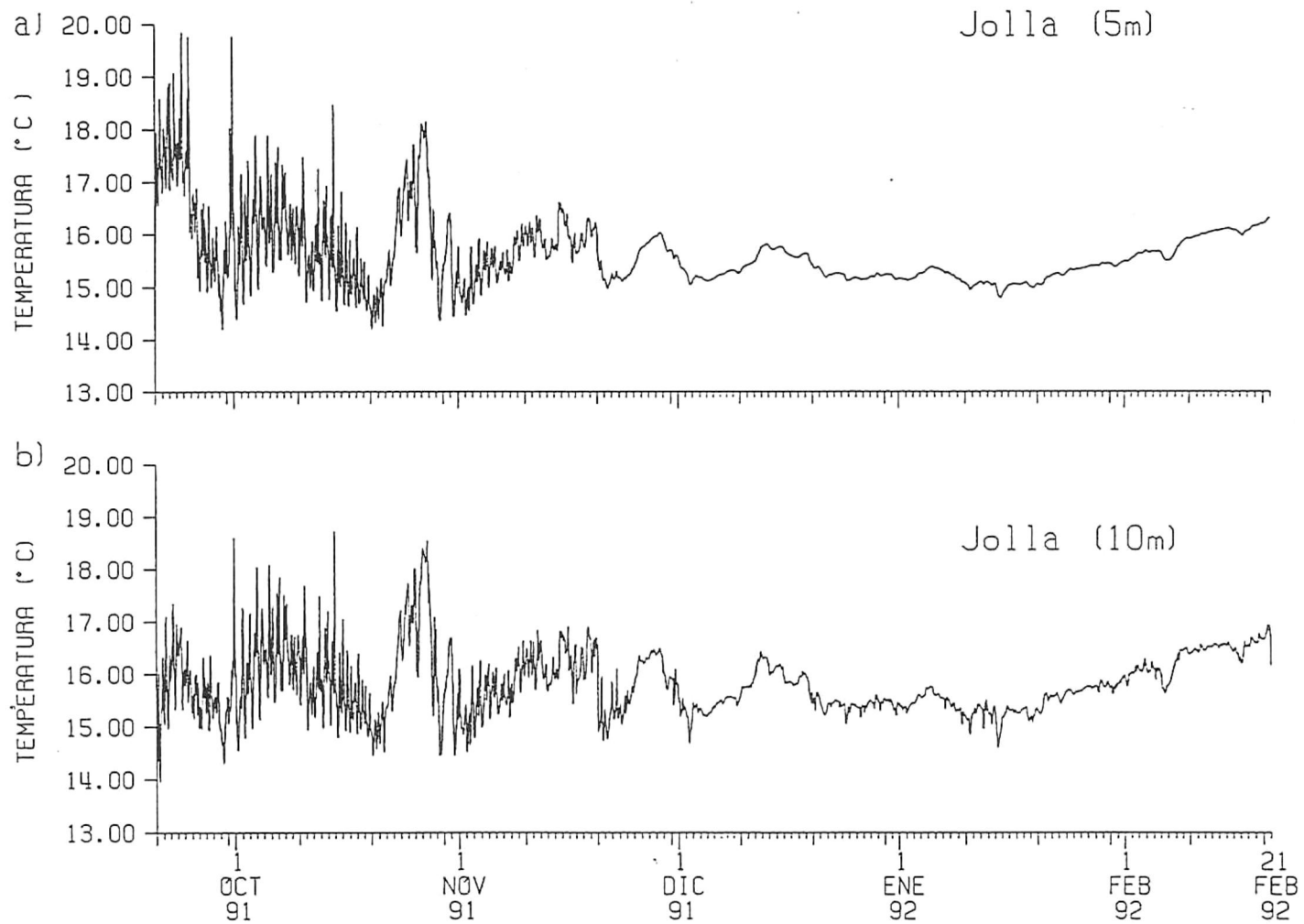


Fig.3. Serie de tiempo de temperatura para la estación La Jolla en la Bahía de Todos Santos, B.C., del 20 de septiembre de 1991 al 21 de febrero de 1992, con un intervalo de muestreo de 1 h. a) 5m y b) 10m.

Tabla. I. Estadística básica para Isla (10m).

	Promedio °C	Desv. Estandar	Varianza	Máximo °C	Mínimo °C
Septiembre	16.23	1.0224	1.0453	19.02	14.18
Octubre	16.31	1.035	1.072	19.76	13.68
Noviembre	15.84	0.5765	0.3323	16.98	13.7
Diciembre	15.50	0.2985	0.0891	16.27	14.12
Enero	15.35	0.2012	0.04	16.07	14.84
Febrero	16.05	0.2327	0.0541	16.38	14.73

Tabla. II. Estadística básica para La Jolla (10m).

	Promedio °C	Desv. Estandar	Varianza	Máximo °C	Mínimo °C
Septiembre	15.62	0.6696	0.4484	18.72	13.95
Octubre	16.05	0.9163	0.8397	18.83	14.44
Noviembre	15.87	0.5195	0.2699	16.9	14.52
Diciembre	15.58	0.3119	0.0972	16.43	14.66
Enero	15.46	0.2382	0.0567	15.94	14.6
Febrero	16.31	0.2776	0.077	16.83	15.63

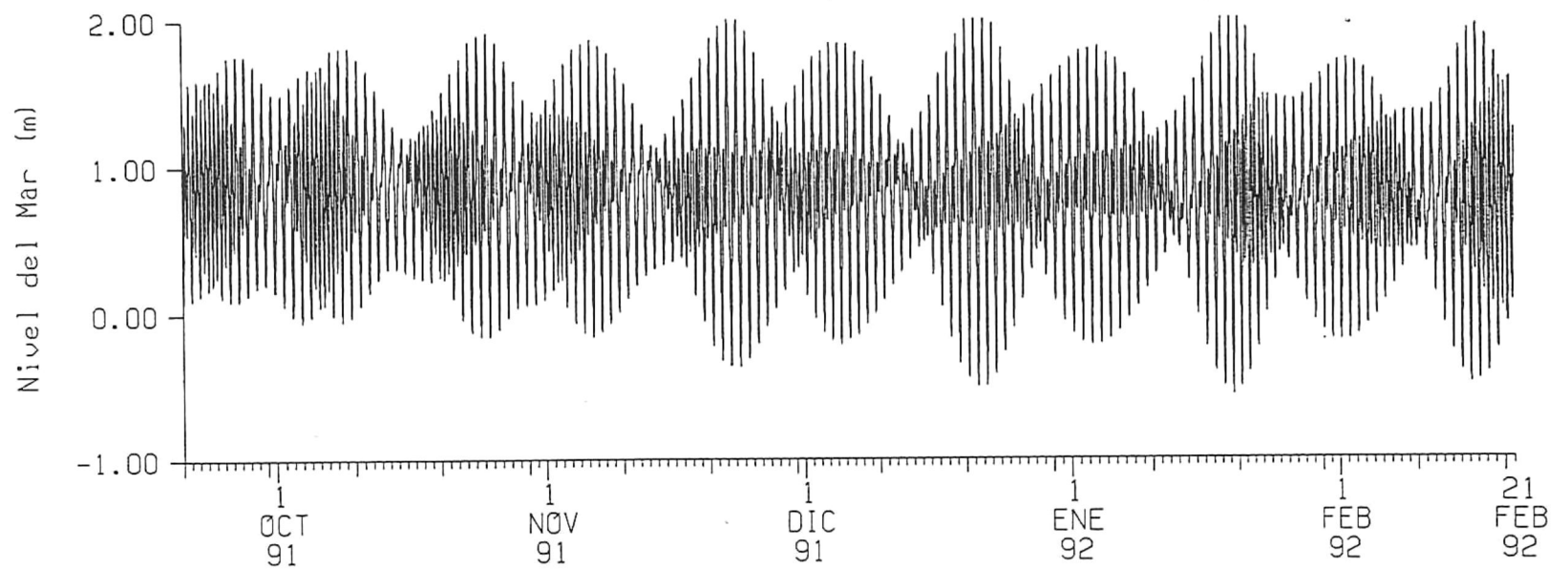


Fig. 4. Predicción de marea para el Puerto de Ensenada, B.C., del 20 de septiembre de 1991 al 21 de febrero de 1992, con un $dt = 1h$.

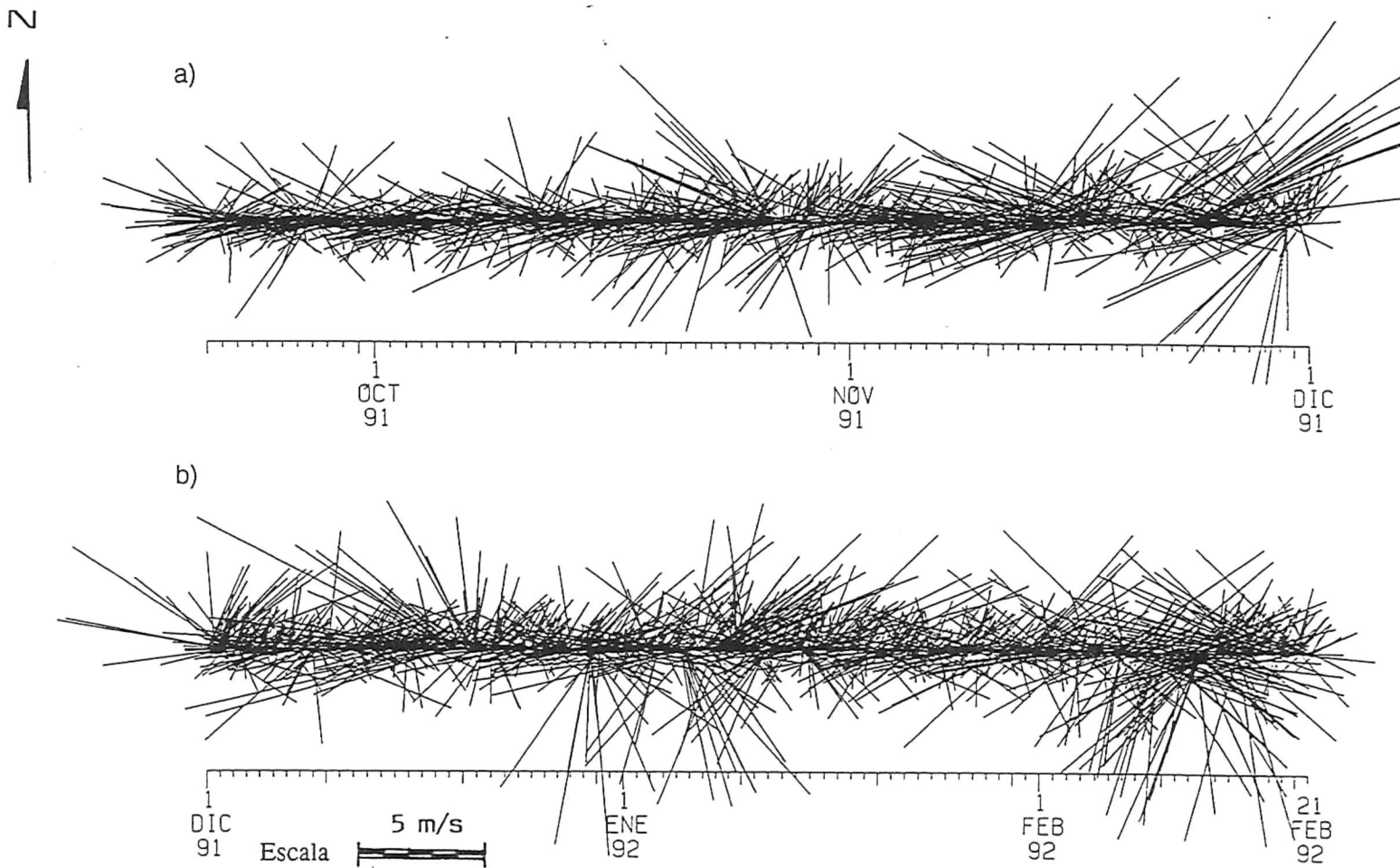


Fig. 5. Serie de tiempo de viento medido en Punta Morro, B.C. El intervalo de tiempo entre cada vector es de 1 h. a) del 20 de septiembre de 1991 al 30 de noviembre de 1991 y b) del 1o. de diciembre de 1991 al 21 de febrero de 1992.

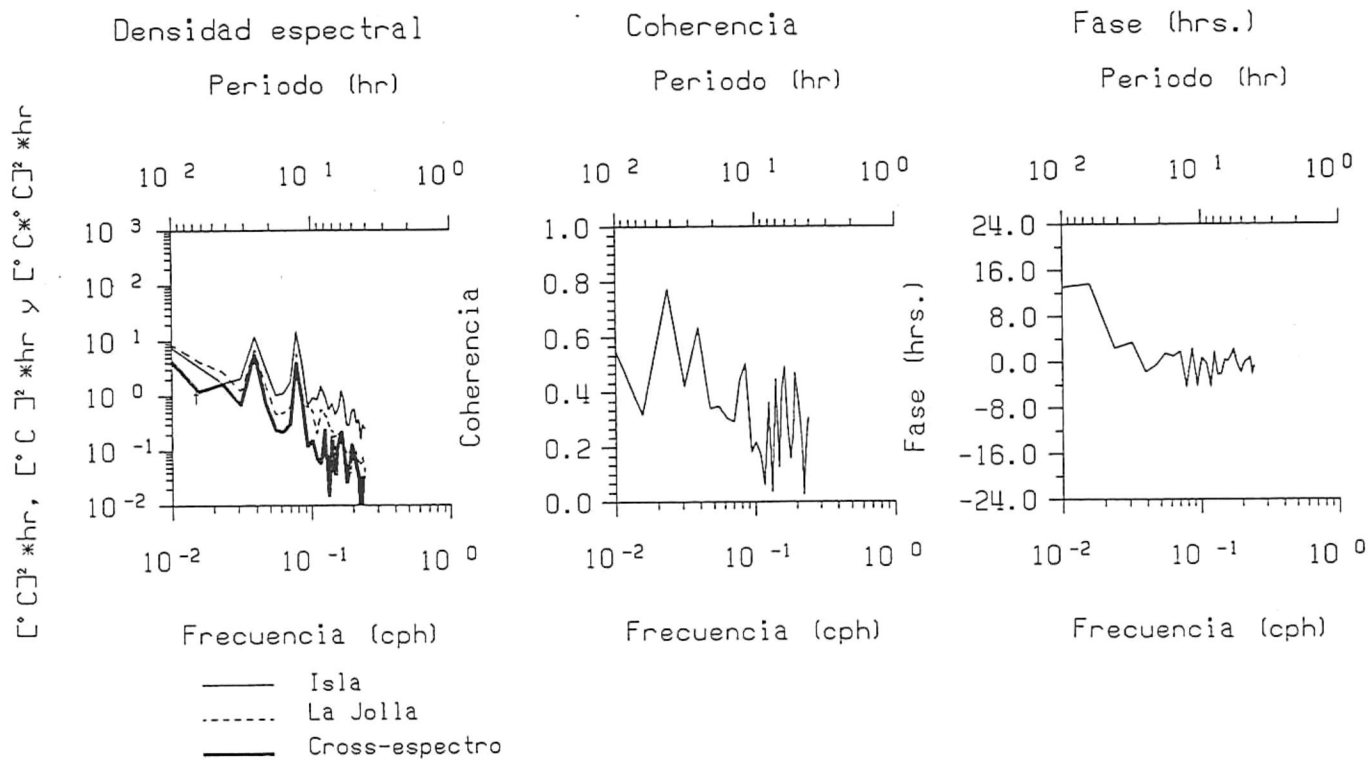


Fig. 6. Espectro de potencia, espectro cruzado, coherencia y fase para las temperaturas a 10m en las estaciones Isla y La Jolla, correspondiente a otoño 1991.

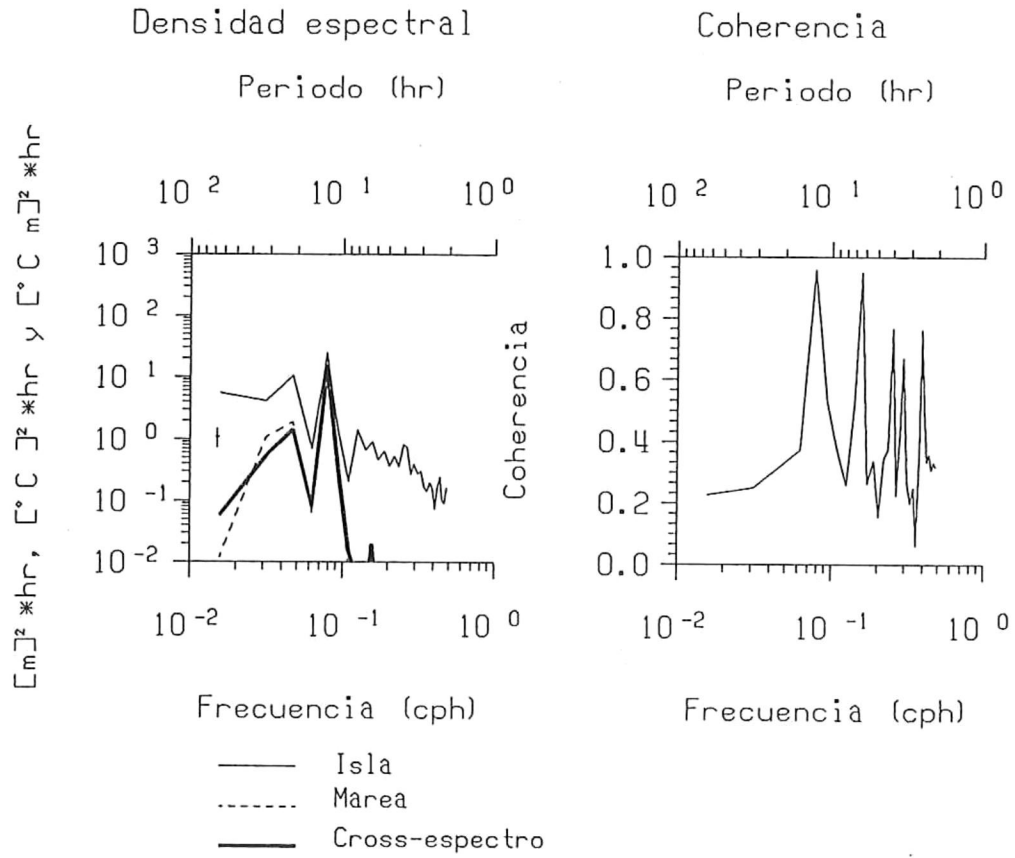


Fig.7. Espectro de potencia, espectro cruzado y coherencia para la temperatura a 10m en la estación Isla y marea, correspondiente al mes de septiembre de 1991.

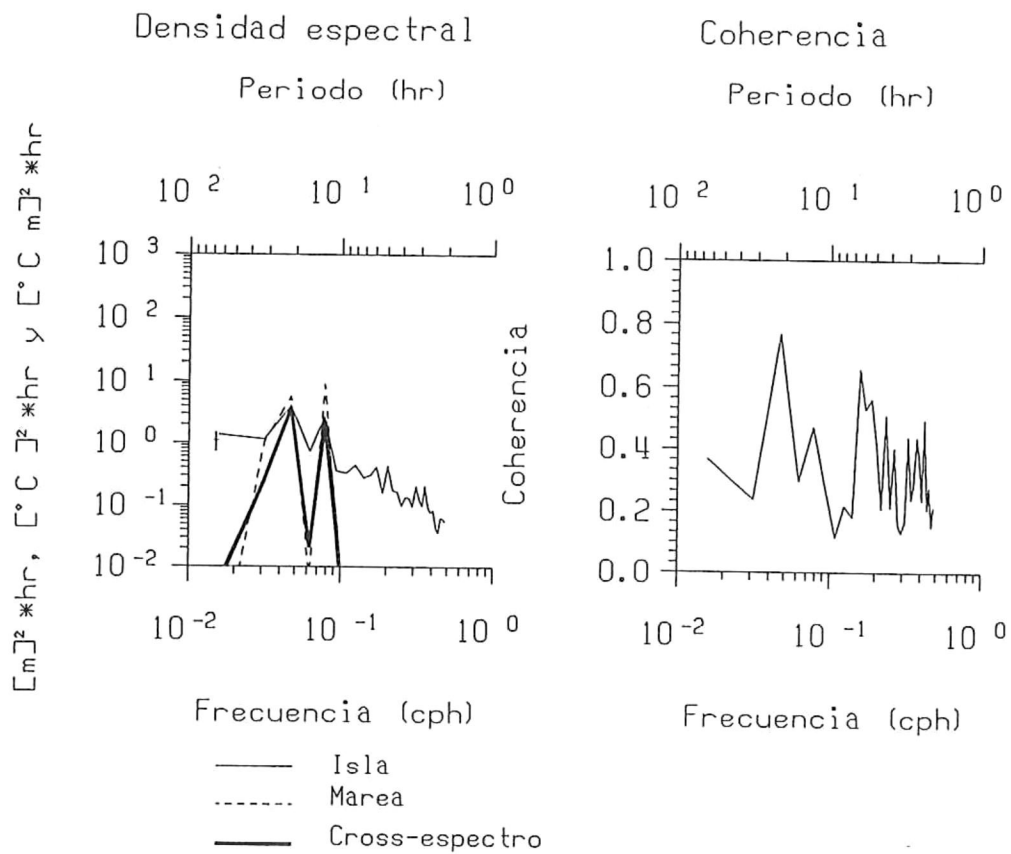


Fig.8. Espectro de potencia, espectro cruzado y coherencia para la temperatura a 10m en la estación Isla y marea, correspondiente al mes de noviembre de 1991.

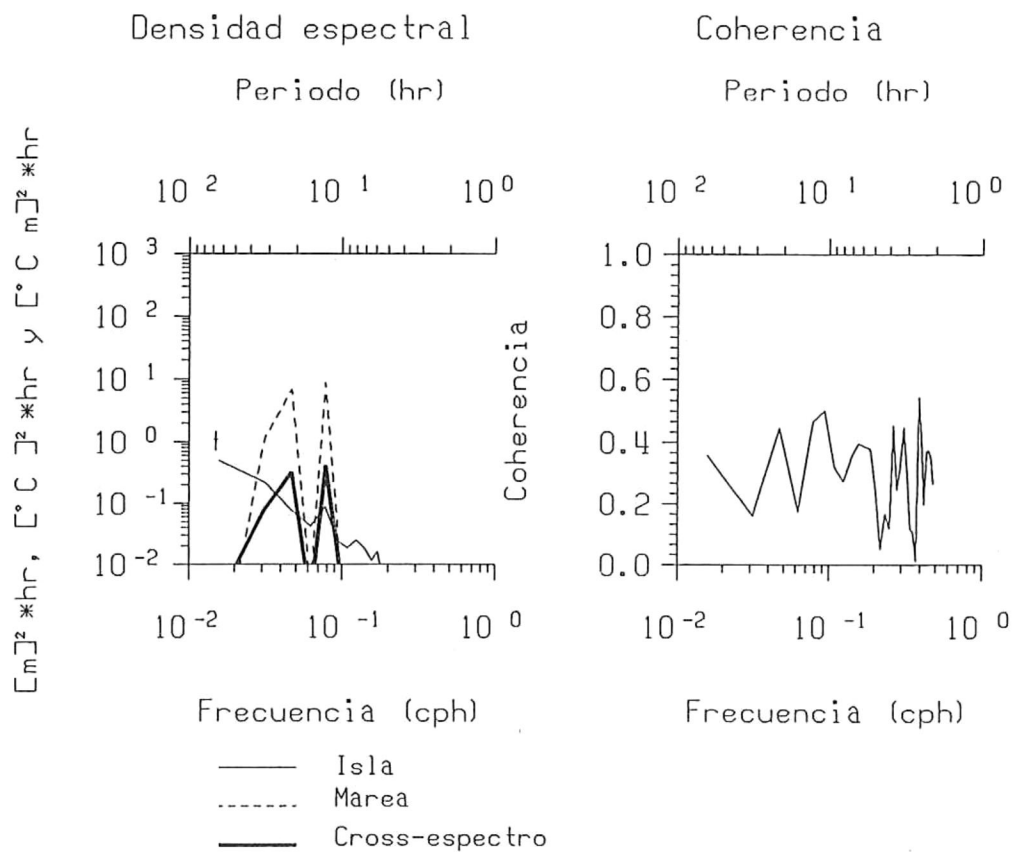


Fig.9. Espectro de potencia, espectro cruzado y coherencia para la temperatura a 10m en la estación Isla y marea, correspondiente al mes de diciembre de 1991.

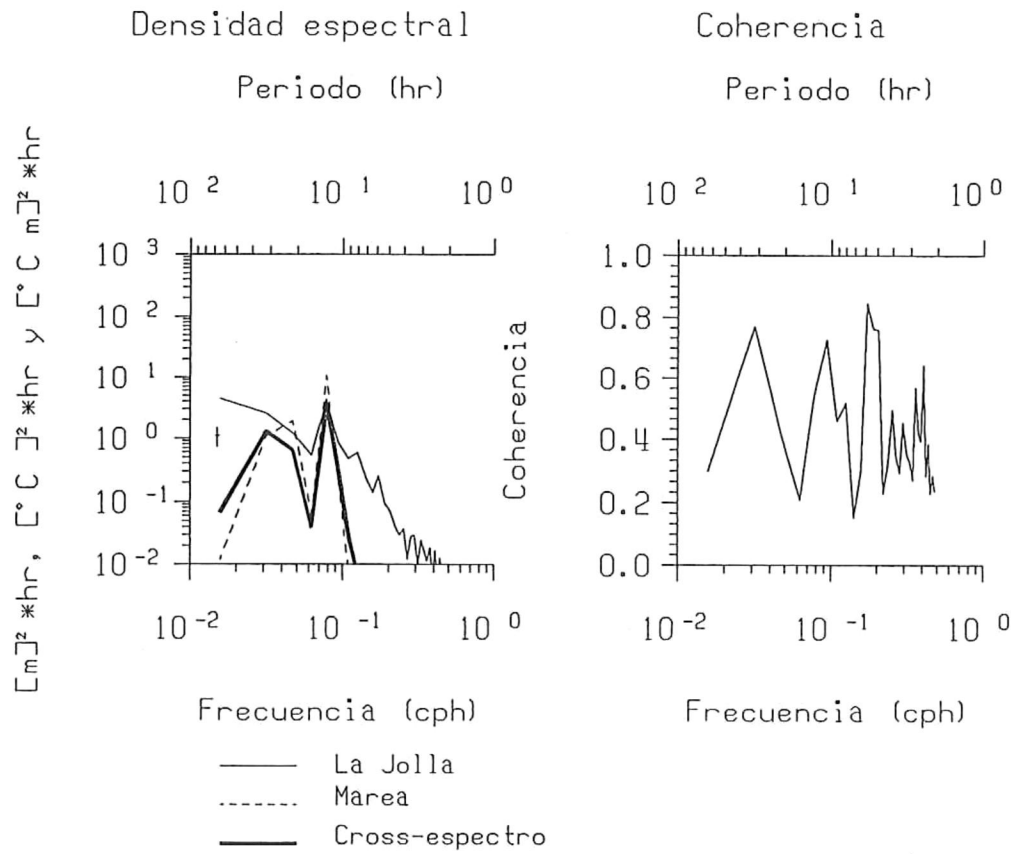


Fig. 10. Espectro de potencia, espectro cruzado y coherencia para la temperatura a 10m en la estación La Jolla y marea, correspondiente al mes de septiembre de 1991.

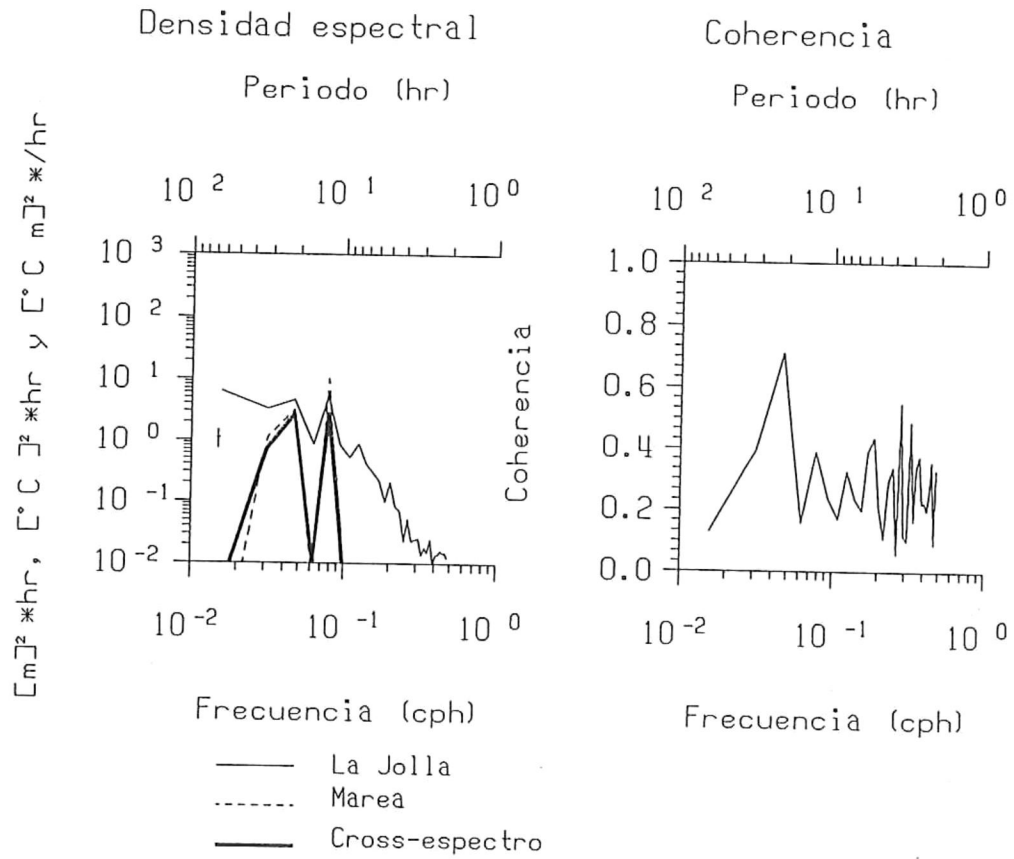


Fig. 11. Espectro de potencia, espectro cruzado y coherencia para la temperatura a 10m en la estación la Jolla y marea, correspondiente al mes de octubre de 1991.

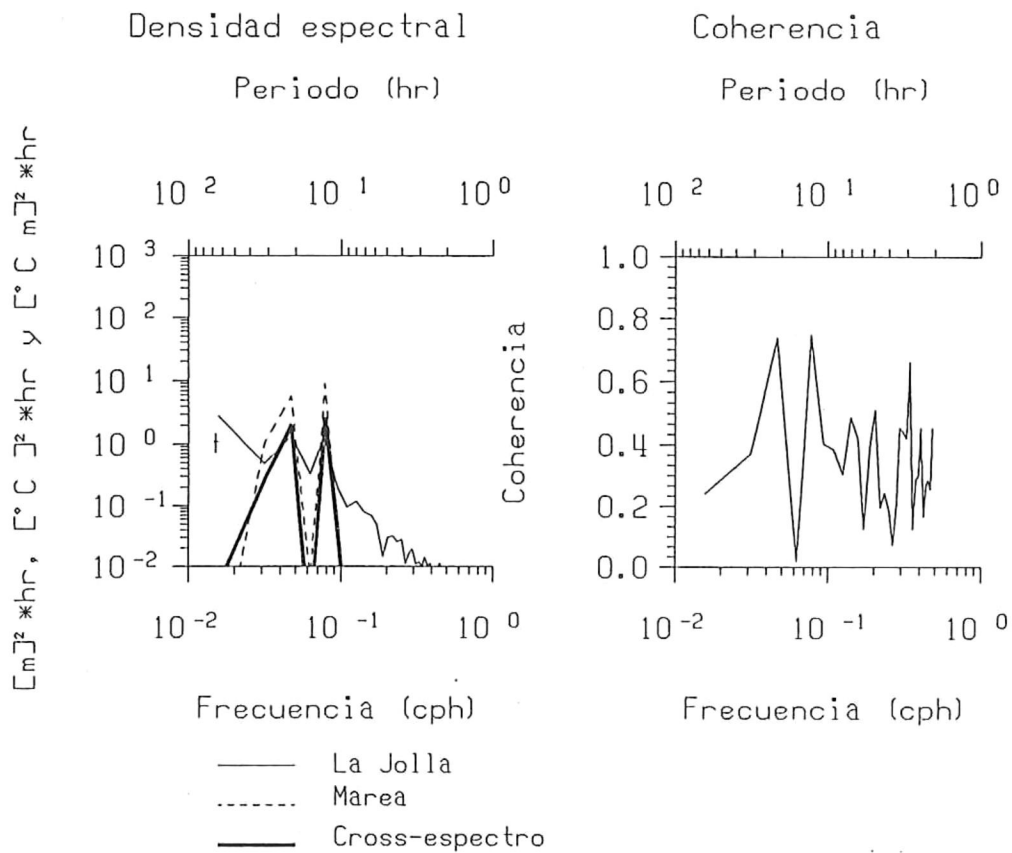


Fig. 12. Espectro de potencia, espectro cruzado y coherencia para la temperatura a 10m en la estación La Jolla y marea, correspondiente al mes de noviembre de 1991.

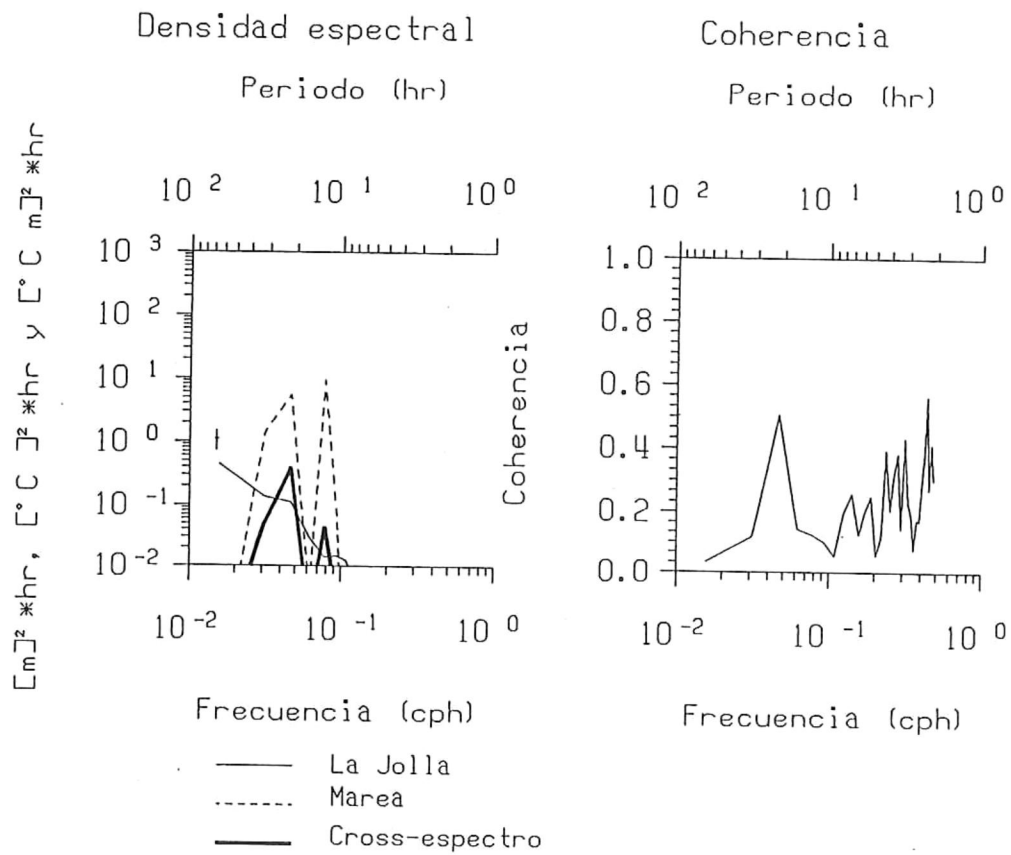


Fig. 13. Espectro de potencia, espectro cruzado y coherencia para la temperatura a 10m en la estación La Jolla y marea, correspondiente al mes de enero de 1992.

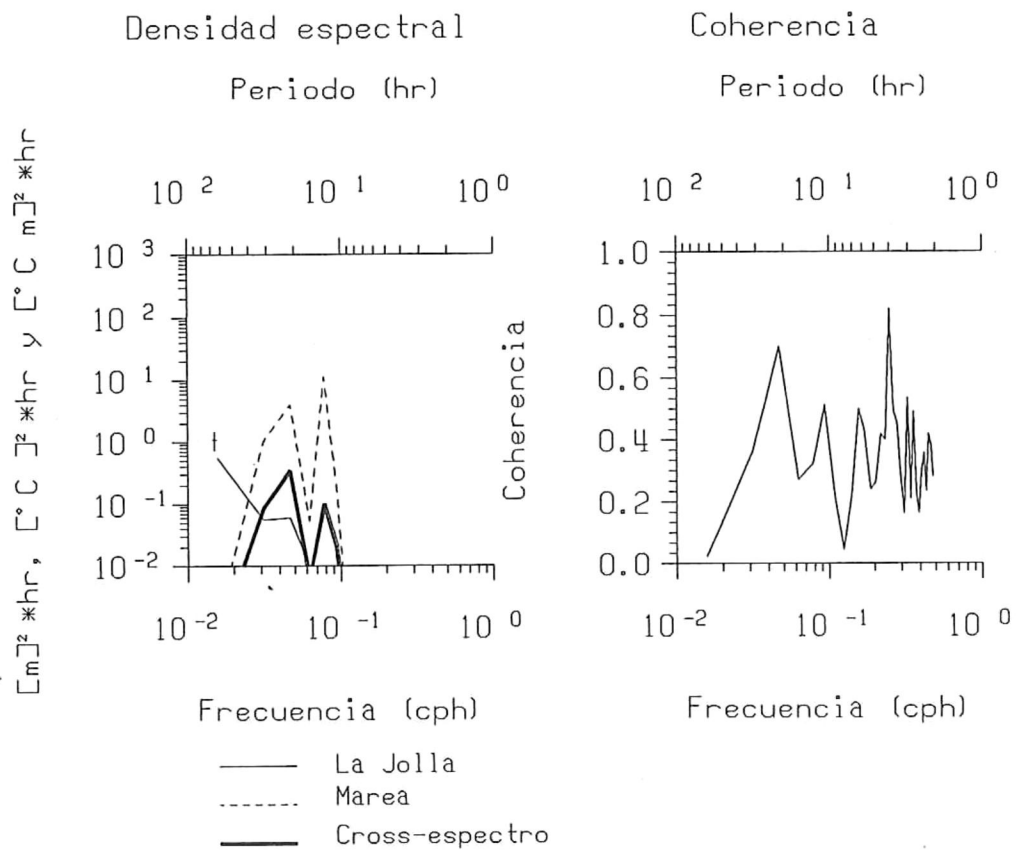


Fig. 14. Espectro de potencia, espectro cruzado y coherencia para la temperatura a 10m en la estación La Jolla y marea, correspondiente al mes de febrero de 1992.

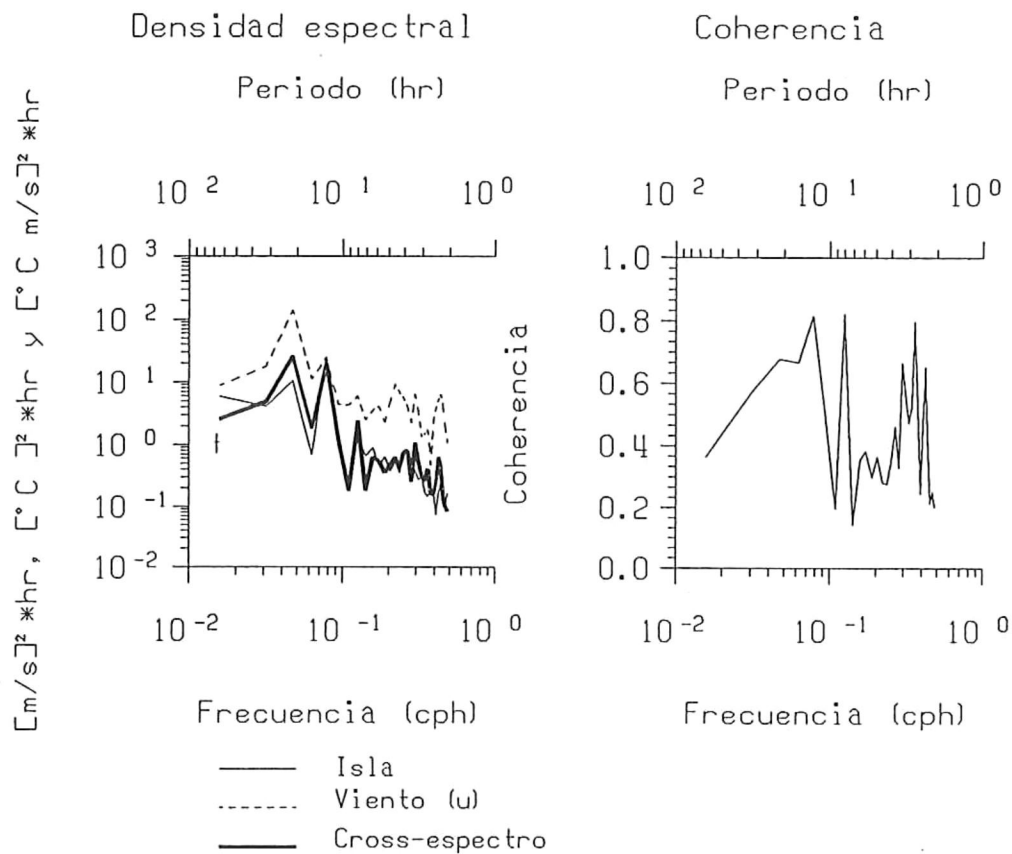


Fig. 15. Espectro de potencia, espectro cruzado y coherencia para la temperatura a 10m en la estación Isla y componente u del viento, correspondiente al mes de septiembre de 1991.

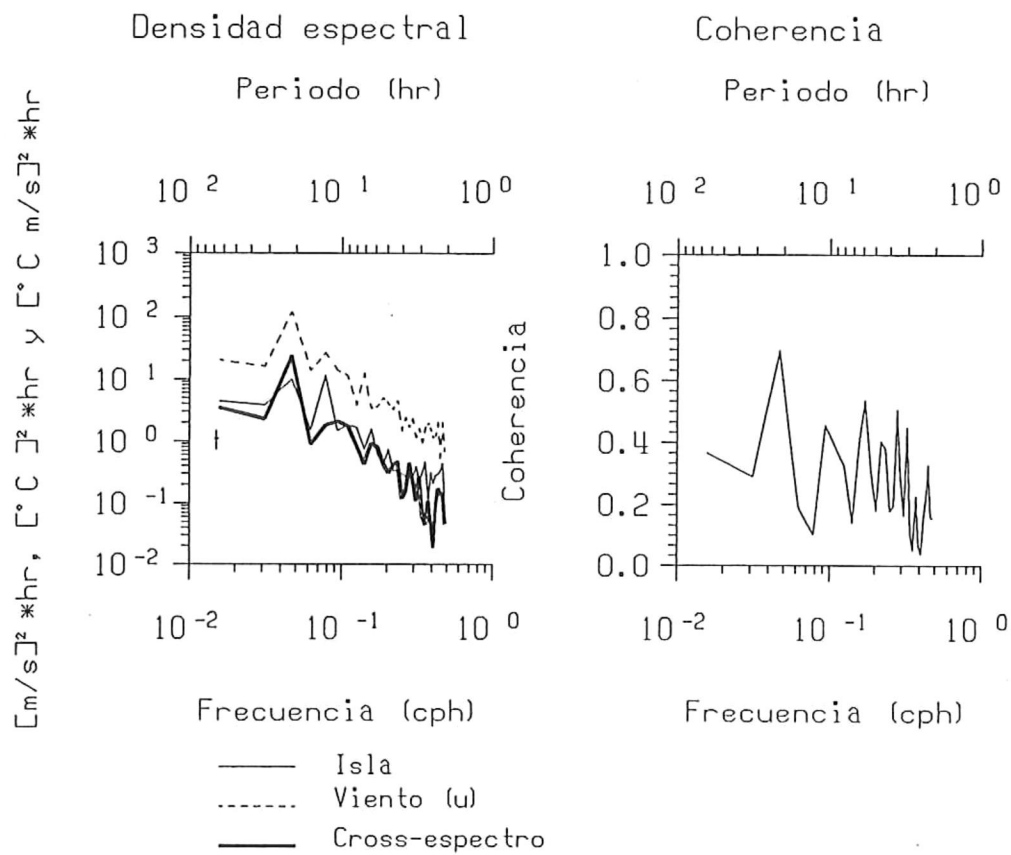


Fig. 16. Espectro de potencia, espectro cruzado y coherencia para la temperatura a 10m en la estación Isla y componente u del viento, correspondiente al mes de octubre de 1991.

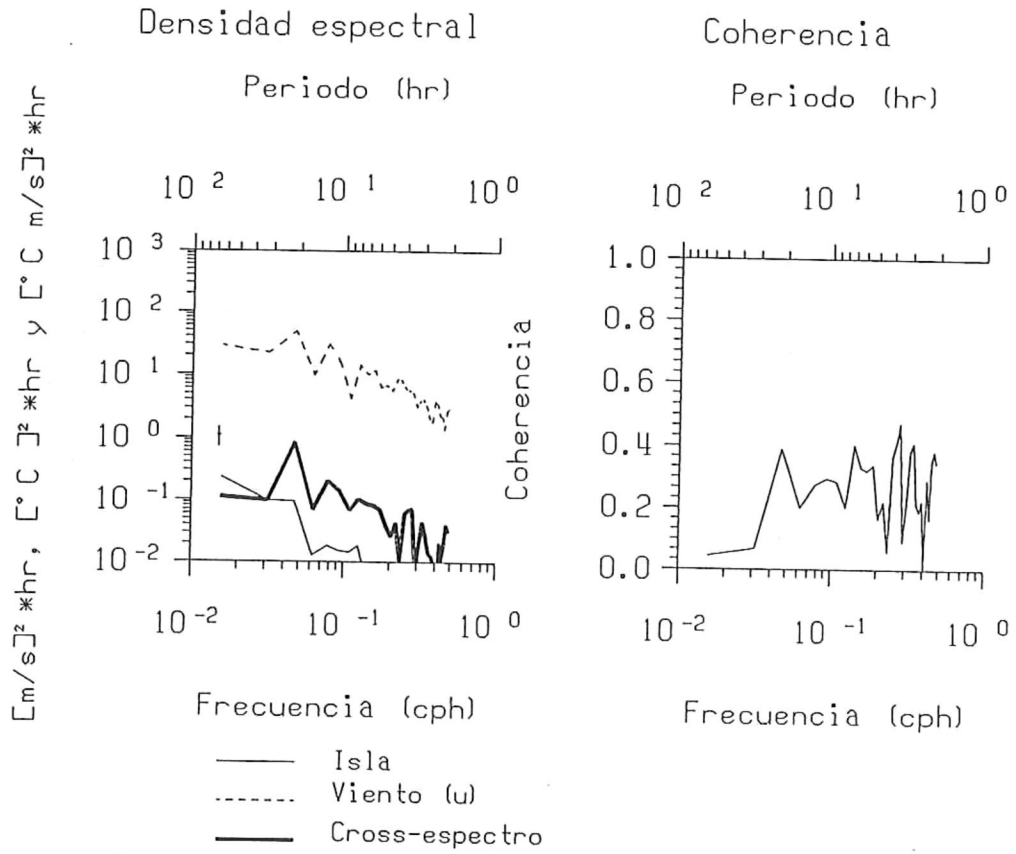


Fig. 17. Espectro de potencia, espectro cruzado y coherencia para la temperatura a 10m en la estación Isla y componente u del viento, correspondiente al mes de enero de 1992.

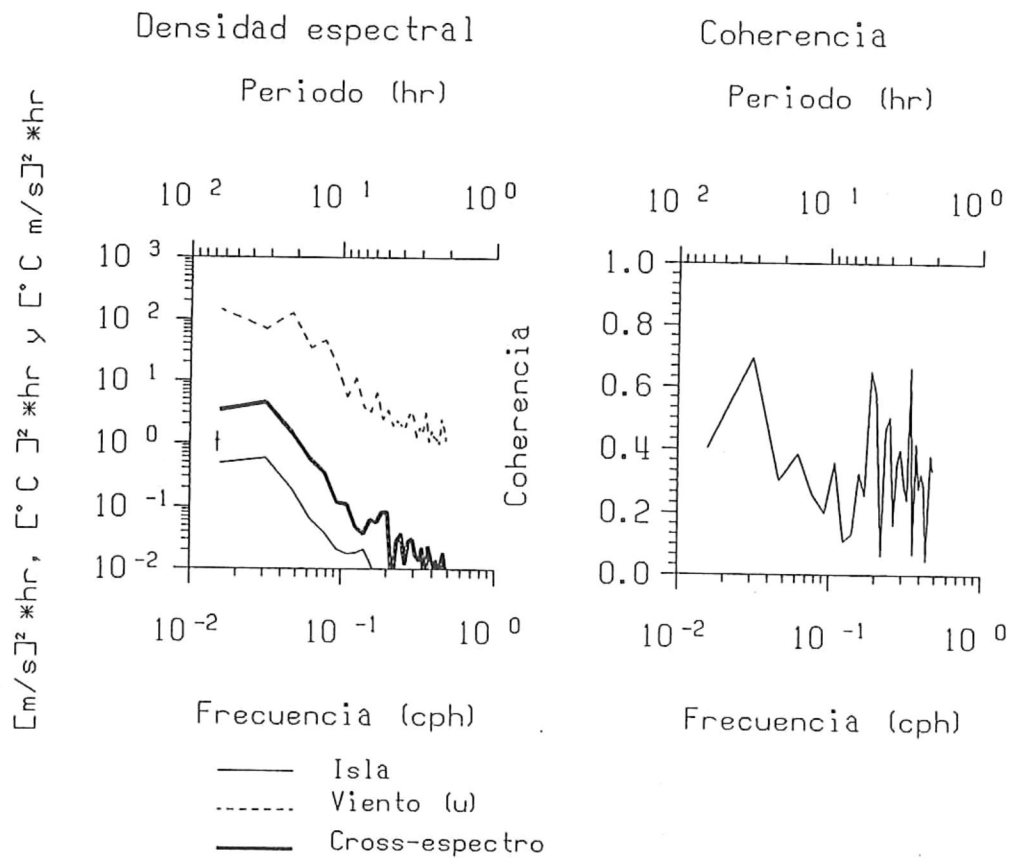


Fig. 18. Espectro de potencia, espectro cruzado y coherencia para la temperatura a 10m en la estación Isla y componente u del viento, correspondiente al mes de febrero de 1992.

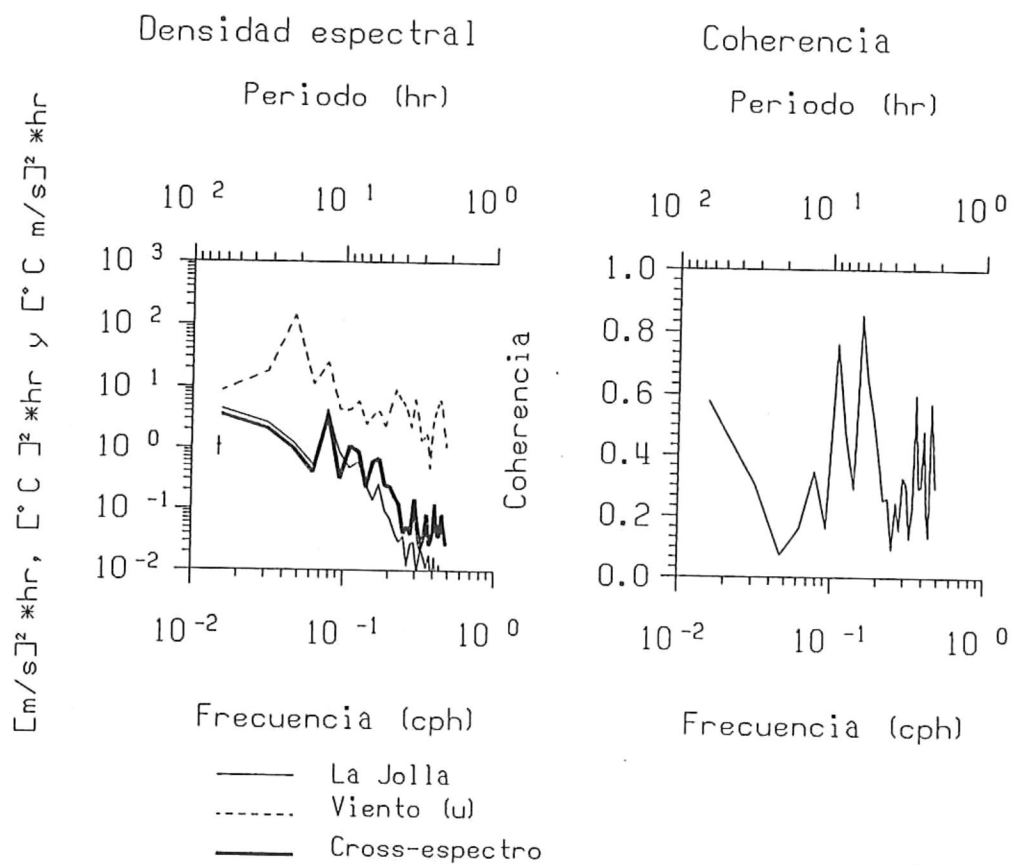


Fig. 19. Espectro de potencia, espectro cruzado y coherencia para la temperatura a 10m en la estación La Jolla y componente u del viento, correspondiente al mes de septiembre de 1991.

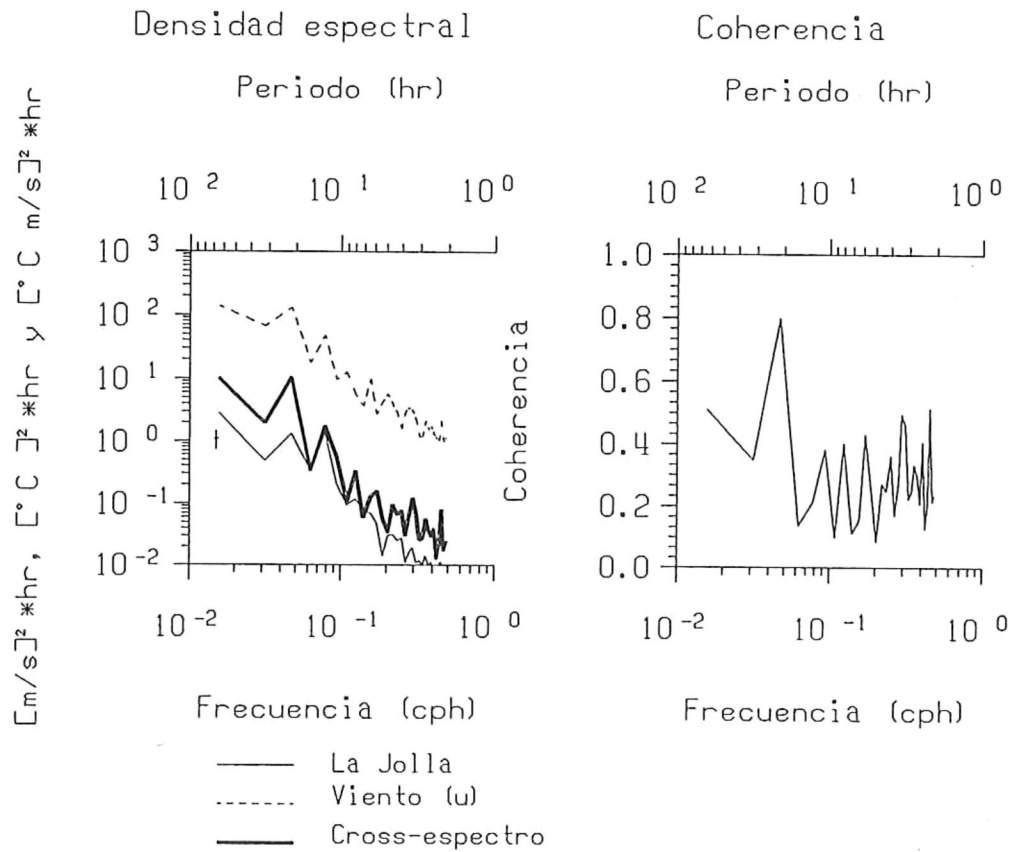


Fig. 20. Espectro de potencia, espectro cruzado y coherencia para la temperatura a 10m en la estación La Jolla y componente u del viento, correspondiente al mes de noviembre de 1991.

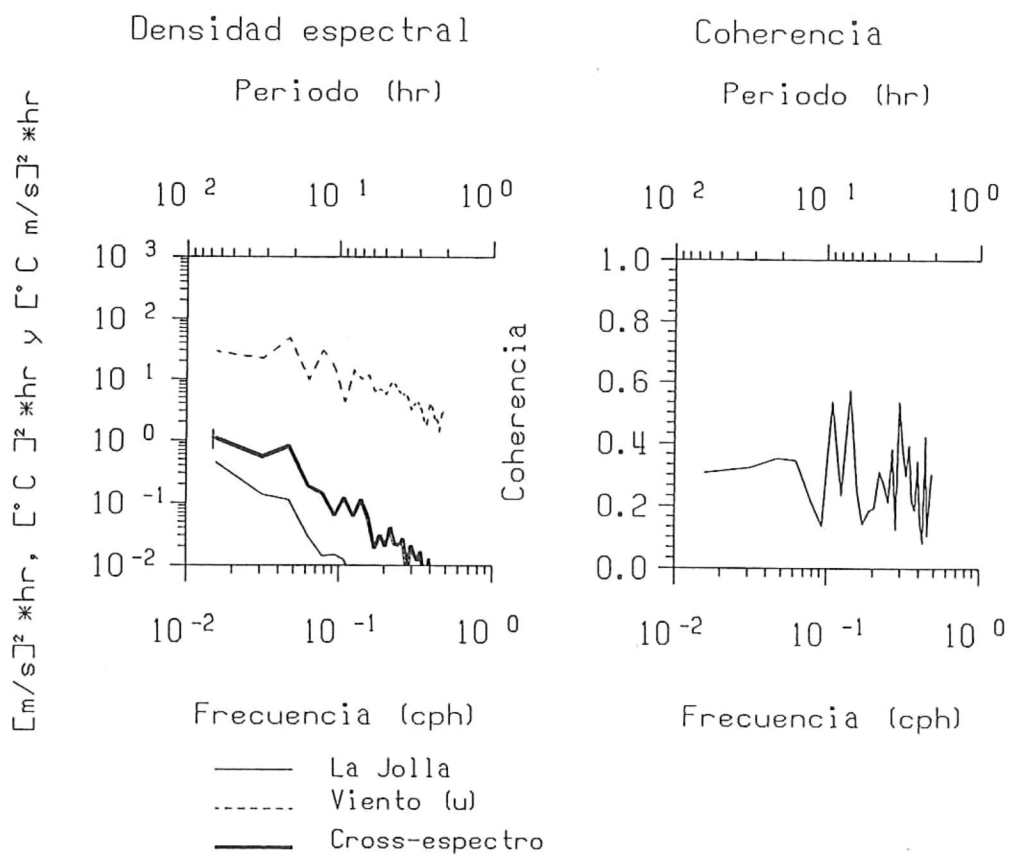


Fig. 21. Espectro de potencia, espectro cruzado y coherencia para la temperatura a 10m en la estación La Jolla y componente u del viento, correspondiente al mes de enero de 1992.

Temperatura.

Espectros de temperatura de 10m en la estación Isla.

En la figura 6 se observa el espectro de temperatura para la estación de otoño destacando la banda diurna y semidiurna, y en las figuras 7 a la 9 se presentan los espectros de temperatura de septiembre a febrero. Se destacan las señales de las bandas diurna y semidiurna para los meses de septiembre a noviembre. Durante el mes de diciembre (Fig. 9) desaparece completamente la señal diurna y en enero y febrero ambas desaparecen.

Espectros de temperatura de 10m en la estación La Jolla.

La figura 6 muestra el espectro de temperatura en otoño observándose como señales principales a las bandas diurna y semidiurna. De las figuras 10 a la 14 se presentan los espectros de temperatura de septiembre a febrero. Esperaríamos un comportamiento similar al encontrado en la estación de la Isla, es decir, la señal diurna y semidiurna para los tres primeros meses, sin embargo, durante septiembre no se detecta la diurna (Fig. 10). En octubre y noviembre (Figs. 11 y 12) las bandas diurna y semidiurna están bien representadas. Otro cambio sobresaliente, con respecto al espectro de la Isla, ocurre en diciembre, mes en el cual desaparecen las señales diurna y semidiurna. El mes de enero (Fig. 13) tiene un comportamiento similar al mes anterior, difiriendo nuevamente febrero (Fig. 14) con el espectro de la Isla al presentar una señal en la banda diurna, si bien con poco contenido energético, relativo a los espectros de septiembre, octubre y noviembre, si queda definida.

Viento.

Los estadísticos de viento presentados por Gil et al (1992), indican que la componente u del viento durante los meses de septiembre, octubre y noviembre tienen dirección dominante oeste-suroeste y oeste-noroeste, orientación que coincide con la conexión más grande de la Bahía de Todos Santos con el mar abierto, lo cual permite que esta componente u tenga mayor efecto en

el registro de ambas estaciones al generar oleaje local, corrientes y evaporación. Ante esta apreciación se optó por realizar el análisis espectral cruzado de la componente u con la temperatura. También se realizó con respecto a la componente v , más las coherencias fueron menores 0.4, por lo cual se decidió omitir sus gráficos.

Espectros de la componente u del viento.

Se caracterizan por tener señales en la banda diurnas y semidiurnas durante los meses observados (Figs. 15-18). Sólo durante el mes de diciembre la señal semidiurna tiende a desaparecer, sin embargo, aún es posible resolverla. De las figuras 19 a la 21 se presentan los mismos espectros de la componente u , sólo que con respecto a la estación La Jolla, por lo que se omite su descripción.

Marea.

Se presentan dos señales espectrales únicas, diurna y semidiurna, en todos los meses (Figs. 7-9), esto es de esperarse por ser una predicción.

A continuación y con el fin de analizar el cambio estacional en los espectros cruzados, se hace una descripción por meses, resaltando las señales espectrales diurna y semidiurna, observados en todos los espectros. No se encontraron referencias que proporcionen un valor numérico para elegir alta o baja coherencia entre las señales analizadas. El nivel de significancia para la coherencia puede ser calculado por el método de Thompson (1979), sin embargo, dada su complejidad estadística (tema para desarrollar otra tesis). En este trabajo se optó por elegir como alta coherencia un valor mayor ó igual a 0.7.

Descripción del espectro cruzado entre temperatura de estación Isla y La Jolla a 10m.

El espectro cruzado entre la temperatura en la estación Isla y la Jolla a 10m (Fig. 6) en otoño nos determina que la señal en la banda diurna presenta una coherencia de 0.6 con un desfase de

-1.74 h, mientras la banda semidiurna muestra una coherencia de 0.5 y un desfase de 2.33 h. En invierno el espectro cruzado entre la temperatura de estas estaciones a 10m presenta muy bajas coherencias menores a 0.4 por lo cual no será presentada su gráfica.

Descripción de espectros cruzados entre temperatura y marea.

Isla 10m.

En los meses de septiembre y octubre se destacan la banda diurna y semidiurna, siendo esta última la de mayor magnitud y coherencia (Fig. 7)

Noviembre presenta las señales diurna y semidiurna de magnitud semejante, no pudiéndose decir que ambos sean estadísticamente independientes. Ahora la coherencia es alta en la banda diurna y no en la semidiurna (Fig. 8).

Durante diciembre, enero y febrero, la magnitud espectral cruzada de las señales diurna y semidiurna disminuye y la coherencia tiene valores bajos (Fig. 9).

La Jolla 10m.

En el mes de septiembre (Fig. 10), no se presenta la señal diurna, en su lugar aparece una señal con alta coherencia en la banda de 32h, mientras la semidiurna presenta baja coherencia.

Para el mes de octubre se tienen las señales diurna y semidiurna de igual magnitud, no pudiéndose decir que ambos sean independientes; la coherencia de la banda diurna es alta y mientras la semidiurna no presenta coherencia (Fig. 11).

Noviembre (Fig. 12) destacan las bandas diurna y semidiurna aproximadamente de la misma magnitud, con lo cual no puede decirse que sean independientes. Las coherencias para ambas bandas son altas e iguales.

En los meses de diciembre y enero la energía y la coherencia han disminuido de manera notoria, principalmente en la banda semidiurna, por lo que en estos meses las magnitudes espectrales son pequeñas en ambas bandas (Fig. 13). La banda diurna presenta mayor energía y coherencia que la semidiurna. Las coherencias más pequeñas corresponden a estos meses, principalmente enero, sin embargo, en el mes de febrero (Fig. 14) la banda diurna muestra alta coherencia, con una magnitud espectral pequeña.

Descripción de espectros cruzados entre temperatura y viento.

Temperatura y componente u del viento.

Isla 10m.

Para el mes de septiembre se tienen 2 señales bien definidas con alta energía y valores similares en las bandas diurna y semidiurna, y no es clara su independencia estadística. En este mes se presentan altas coherencias (Fig. 15).

En los meses de octubre y noviembre se destacan la señal diurna con mayor magnitud y coherencia considerable de aproximadamente 0.65 (Fig. 16)

En diciembre y enero la energía espectral ha disminuido notoriamente, presentándose señales diurna y semidiurna, siendo la primera la más energética. Se observan bajas coherencias en ambos meses (Fig. 17).

En febrero han desaparecido las señales diurna y semidiurna (Fig. 18), en su lugar aparece una señal en la banda de 32 h con coherencia considerable.

La Jolla 10m.

En septiembre (Fig. 19) se destaca la banda semidiurna con baja coherencia.

En octubre y noviembre las señales que destacan son, la diurna con alta coherencia y la semidiurna con baja coherencia (Fig. 20). Cabe mencionar que octubre y noviembre presentan magnitudes espectrales menores que septiembre.

En los meses de diciembre, enero y febrero disminuye notablemente la energía del espectro, observándose como señal principal a la banda diurna con baja coherencia (Fig. 21).

5 DISCUSIONES.

Las estadísticas mostradas en las tablas I y II indican que enero fué el mes en que se registraron las temperaturas promedio más bajas y octubre las más altas en ambas estaciones a 10m. Además los valores en la desviación estandar para la estación la Isla reflejan la mayor variabilidad observada en las figuras 2b y 3b, esto podría deberse a que la configuración batimétrica de esta zona favorece la canalización de corrientes asociadas a la marea en el intercambio de agua a la bahía.

Los valores de temperatura promedio en ambas estaciones a 10m (Tablas I y II) para los meses estudiados, son en general menores, del orden de 1°C , a los presentados por Grijalva et al (1985) para 15m, observando además que a esa profundidad se esperarían temperaturas menores que a 10m, lo anterior puede explicarse por el efecto del fenómeno de El Niño durante el período de medición de estos autores.

En otoño se presentan mayores temperaturas promedio en la estación Isla que en La Jolla, invirtiéndose esta relación en invierno. Cabe mencionar que la diferencia es de escasas décimas de grado, en realidad son poco significativas, pero hay que considerar que son valores promedio. Sin embargo, la precisión del aparato es $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ por lo que las diferencias menores o iguales a este valor deben ser tomadas con cautela.

Los mapas de perfiles horizontales de temperatura presentados por Cabrera Muro (1971), para los meses de septiembre y octubre, indican temperaturas menores al promedio obtenido en este trabajo para dichos meses en la estación Isla a 10m, mientras que en La Jolla a 10m reporta temperaturas mayores al promedio en ambos meses. Morales Zúñiga (1977) presenta distribuciones horizontales de temperatura para octubre, cuyos valores son menores a los reportados en este trabajo para ambas estaciones a 10m y mayores para el mes de febrero. Las discrepancias encontradas entre las temperaturas reportadas por estos dos últimos autores y las de este trabajo, pueden deberse a la forma de representar la temperatura de un mes en particular, en sus trabajos sólo realizaron una

medición por mes, mientras en este trabajo se presenta un promedio de mediciones de todo un mes, además de existir variaciones diurnas importantes, como los cambios presentados en las figuras 2b y 3b, que deben de tomarse en cuenta al realizar muestreos.

A diferencia de lo que declara Morales Zuñiga (1977) en el sentido de que las variaciones diurnas y semidiurnas de temperatura no son importantes. En este trabajo se observan amplitudes de hasta 4°C en un día en ambas estaciones a 10m de profundidad, la importancia de estas oscilaciones depende del tipo de trabajo a desarrollar, es decir, habrá estudios que requieran conocer estas variaciones de manera precisa, como son los cultivos oceánicos de especies comerciales, habrá otros donde sólo interese conocer los valores promedios, por ejemplo, un estudio de circulación general.

Las oscilaciones diurnas y semidiurnas de temperatura presentan mayores amplitudes en los meses correspondientes a otoño, esto debido a que la termoclina está bien formada y permite la propagación de todo tipo de perturbación en su interfase. La fuerte homogenización de la columna de agua observada en invierno (Martínez García, 1988) es el factor que inhibe el comportamiento anterior.

Durante la última semana de noviembre se registraron dos eventos Santa Ana, el primero el día 20 y el segundo del 22-24, prevaleciendo condiciones Santa Anas del 20-26 de este mes (Fig. 5a), días que se presentan sin nubosidad, secos y con aumento de la temperatura ambiental. Esta condición coincidió con mareas muertas, lográndose un aumento de temperatura del agua, sin embargo, por ser un sólo evento no puede decirse que esto siempre ocurre.

Del espectro cruzado de temperaturas entre la estación Isla y La Jolla a 10m de profundidad para otoño (Fig. 6) se observa que existe una propagación de la señal diurna de la estación La Jolla a Isla de 1.74 h, lo cual puede deberse a que siendo la bahía en general somera, el agua es calentada por radiación solar y al bajar la marea existe una propagación de esa señal hacia afuera de esta

ensenada. La señal semidiurna, con menor coherencia, viaja de la estación Isla a La Jolla con un desfase de 2.33 h, esto tal vez es debido a que al subir la marea lleva información de agua fría de mar abierto a la bahía. Sin embargo, los valores de coherencia entre estas señales es menor a 0.7.

Las altas coherencias encontradas en la estación Isla a 10m, en septiembre, octubre y noviembre, indican que sobre las variaciones diurnas y semidiurnas de temperatura existe influencia de la marea, al entrar y salir de la bahía, y de la componente u del viento, mediante mecanismos de mezcla, enfriamiento ó bien calentamiento en el caso de condición Santa Anas. Sin embargo, no se puede decidir cual de los dos factores es el que contribuye con más energía sobre los cambios diurnos y semidiurnos (figs. 7, 8, 15 y 16). En diciembre, enero y febrero no se observa influencia del viento ni de la marea en la temperatura, como lo indica el comportamiento espectral de la temperatura en los meses de invierno, esto nos refleja la homogenización de la capa superficial del océano en esta estación del año (Figs. 9, 17 y 18).

Para la estación La Jolla 10m de profundidad en el mes de septiembre es difícil explicar las variaciones diurnas y semidiurnas en función de la marea o el viento (Figs. 10 y 19), debido a la ausencia de la señal diurna en los espectros cruzados y a la baja coherencia en la banda semidiurna, esto puede deberse a que la termoclina se encontraba superficial y fuerte para este mes, como lo señala Cabrera Muro (1971). En octubre y noviembre la participación de la marea y del viento sobre las fluctuaciones diurnas y semidiurnas de temperatura es indiferenciable, dada las altas coherencias presentadas por ambos (Figs. 11, 12 y 20). Durante diciembre, enero y febrero (Figs. 13, 14 y 21) las coherencias se presentan bajas, tanto para el viento como la marea con la temperatura, dado la homogenización existente. Aún cuando en febrero se presenta alta coherencia entre temperatura y marea, la no existencia de cambios diurnos y semidiurnos considerables en los espectros de energía de temperatura en este mes, permite descartar esta observación.

6 CONCLUSIONES.

A 10m de profundidad se registraron diferencias diurnas entre 4 y 5 °C en otoño, las cuales disminuyen hacia meses fríos, hasta hacerse imperceptibles en enero y febrero, como consecuencia de la homogenización de la columna de agua. La mayor variabilidad de temperatura se observó en la Isla, estación que está más expuesta a los efectos dinámicos de mar abierto.

Se apreció en los datos observados que la componente u (Este-Oeste) del viento tiene una mayor participación que la componente v (Norte-Sur) en los cambios diurnos.

En otoño los datos indican la posible propagación de una señal diurna de La Jolla a la Isla con un desfase de 1.74 h y en sentido opuesto para la banda semidiurna con 2.33 h de desfase.

Los valores de coherencia en ambas estaciones permiten observar que el viento y la marea tienen participación en los cambios diurnos y semidiurnos de temperatura en los meses correspondientes a otoño, excepto septiembre en la estación La Jolla, sin embargo, no es posible cuantificar la contribución de cada uno con el método utilizado. En invierno no es posible observar la influencia de estos factores sobre la temperatura debido a la homogenización existente, en ambas estaciones.

7 LITERATURA CITADA.

- Alvarez Borrego, J. y S. Alvarez Borrego, 1982. **Temporal and Spatial Variability of Temperature in Two Coastal Lagoons.** CalCOFI Rep., Vol.XXIII 188-197.
- Alvarez Sanchez, L.G., 1977. **Vientos en la Bahía de Todos Santos, B.C.,** Ciencias Marinas. 4(1):81-89.
- Amador Buenrostro, A., 1975. **Características de las Areas de Surgencia en las Aguas Adyacentes a la Bahía de Todos Santos.** Tesis Licenciatura. Escuela Superior de Ciencias Marinas. U.A.B.C. Ensenada, B.C. 64 pp.
- Bendat, J. & Piersol, A., 1971. **Random Data: Analysis and Measurement Procedures.** John Wiley & Sons, Inc. U.S.A. 407 pp.
- Cabrera Muro, H.R., 1971. **Distribución de Temperatura en la Bahía de Todos Santos.** Tesis Licenciatura. Escuela Superior de Ciencias Marinas. UABC. Ensenada, B.C. México. 38 pp.
- Chávez García, Ma. del Carmen, 1975. **Algunas Condiciones de Surgencia Durante la Primavera de 1974, para el Area Adyacente a Punta Banda, Baja California.** Tesis Licenciatura. Escuela Superior de Ciencias Marinas. UABC. Ensenada, B.C. México. 62 pp.
- Contreras Rivas, I., 1973. **Influencia Termohalina de las Aguas del Estero de Punta Banda en la Bahía de Todos Santos, B.C.** Tesis Licenciatura. Escuela Superior de Ciencias Marinas. UABC. Ensenada, B.C. México. 68 pp.

- De la Paz Vela, R., 1978. **Hidrodinámica y Dispersion de Contaminantes en el Estero de Punta Banda, B.C.** Tesis Licenciatura. Escuela Superior de Ciencias Marinas. UABC. Ensenada, B.C. México. 113 pp.
- de Violini, R., 1974. **Climatic Handbook for Point Mugu and San Nicolas Island, Part 1, Surface Data.** Technical Publication PMR-TP-74-1, March 1974.
- Dorman, C.E., 1991. **A Review of the Meteorology of the California Bight.** Southern California Bight Physical Oceanography. OCS Study MMS 91-0033. 157 pp.
- Gil Silva, E., S. Larios Castillo y R. Blanco Betancourt, 1992. **"Rapidez y Dirección del Viento en Punta Morro, B.C., Para el Período Comprendido Entre Agosto de 1991 Hasta Febrero de 1992.** IIO. Reporte de Datos Abril 1992.
- Grijalva Chon, J.M., R. Castro Longoria y M.G. Hamman, 1985. **Temperatura y Visibilidad en la Bahía de Todos Santos, B.C., México, Octubre de 1982 a Septiembre de 1983.** Ciencias Marinas. 11(1):39-48.
- Mancilla Peraza, M. y G.M. Martínez García, 1991. **Variación Estacional de Temperatura, Salinidad y Oxígeno Disuelto en la Bahía de Todos Santos, B.C., México (Marzo 1986 a Junio 1987).** Rev. Inv. Cient. 2(2):33-45.
- Martínez García, G., 1988. **Aspectos Hidrológicos para el Diseño de un Emisor Submarino en la Bahía de Todos Santos, B.C.** Tesis Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. UABC. Ensenada, B.C. México. 115 pp.

Morales Zúñiga, C., 1977. **Variaciones Estacionales de la Temperatura en la Bahía de Todos Santos, B.C.** Tesis Licenciatura. Escuela Superior de Ciencias Marinas. UABC. Ensenada, B.C. México. 77 pp.

Pavía López, E.G., 1978. **Brisas en la Bahía de Todos Santos, B.C. Durante los Meses de Marzo a Agosto 1978.** Tesis Licenciatura. Escuela Superior de Ciencias Marinas. UABC. Ensenada, B.C. México. 51 pp.

Ramos Rodríguez, S.A., 1985. **Análisis Estadístico de la Corriente, Temperatura y Salinidad en una Estación Adyacente a la Boca del Estero de Punta Banda, B.C., para 6 días de verano de 1985.** Curso de Titulación: Procesos Litorales. Escuela Superior de Ciencias Marinas. UABC. Ensenada, B.C. México. 42 pp.

Thompson, R., 1979. **Coherence Significance Levels.** Journal of Atmospheric Sciences, Volume 36, 2020-2021.

U.S. Navy, 1983. **Climatic Study of the southern California Operating Area Near Coastal Zone.** Naval Oceanography Command Detachment. Asheville, NC 207 pp.