

**ESTRUCTURA ESPACIAL DE LOS CAMPOS DE TEMPERATURA Y
SALINIDAD EN PRESENCIA DE ONDAS INTERNAS EN LA
PLATAFORMA CONTINENTAL DE LOS ESTADOS DE
JALISCO Y COLIMA (MÉXICO)**

**SPATIAL STRUCTURE OF THE TEMPERATURE AND SALINITY
FIELDS IN THE PRESENCE OF INTERNAL WAVES ON THE
CONTINENTAL SHELF OF THE STATES OF
JALISCO AND COLIMA (MEXICO)**

A.E. Filonov

Departamento de Física
Universidad de Guadalajara
Apartado postal 4-079
Guadalajara 44421, Jalisco, México
E-mail: afilonov@ccip.udg.mx

Recibido en julio de 1998; aceptado en julio de 1999

RESUMEN

Se propone un método de filtrado de las fluctuaciones de las características hidrofísicas en la plataforma continental que son causadas por intensas mareas internas. El método se fundamenta en el suavizado del campo de la característica analizada, a través de un filtro cuyos parámetros se determinan por la forma de la función de correlación espacial de las pulsaciones del campo. El método de filtrado se probó con los datos de un levantamiento oceanográfico rápido realizado en una zona del polígono de monitoreo de las aguas en la región de Barra de Navidad. El levantamiento se llevó a cabo el 25 y 26 de noviembre de 1995, con ayuda de un CTD ondulante. En tan solo un día se obtuvieron 86 perfiles verticales de la temperatura y salinidad en nueve transectos perpendiculares a la costa (área del levantamiento 100×25 km) hasta una profundidad de 100 m. Se revisa detalladamente el algoritmo de filtrado de las ondas internas. Las mediciones del campo se representan en forma analítica por medio de una ecuación cuyos miembros describen los componentes de baja frecuencia, de pulsación y el relacionado con el comportamiento diario. Se discuten los resultados del análisis de los campos iniciales de temperatura y de salinidad con respecto a la homogeneidad e isotropía, así como las peculiaridades de la estructura de las estimaciones de sus funciones de correlación espacial. Se muestra que el campo de temperatura y salinidad en la plataforma, en los límites de la escala del polígono, no son homogéneos ni isotrópicos. Las funciones de correlación de las pulsaciones de los campos analizados se representan más claramente en la capa de la termoclina. Sus escalas características son menores en la dirección perpendicular a la costa que a lo largo de ella. Se presentan y discuten ejemplos de suavización del campo de la temperatura y de la salinidad en la termoclina.

Palabras clave: plataforma continental, muestreo oceanográfico, ondas internas, filtración.

ABSTRACT

A method to filter fluctuations in the hydrophysical properties of the continental shelf, caused by intense internal tides, is proposed. The method is based on a smoothing of the field of the properties analyzed with a filter, the parameters of which are determined by the shape of the spatial correlation function of the field pulsations. The filtering method was tested on data from a fast oceanographic survey, conducted in an area of the monitoring polygon of the waters around Barra de Navidad. The survey was conducted on 25 and 26 November 1995, with an undulating CTD. In one day, 86 vertical profiles of temperature and salinity were obtained from nine transects perpendicular to the coast (survey area of 100×25 km) to a depth of 100 m. The filtering algorithm of the internal waves is studied in detail. The field measurements present an analytical shape obtained from an equation in which the elements describe the components: low frequency, pulsating and related to daily behavior. The results of the analysis of the initial temperature and salinity fields with respect to homogeneity and isotropy are discussed, as well as the structural peculiarities of the estimates of the spatial correlation functions. It is observed that the temperature and salinity fields along the shelf, within the limits of the polygon scale, are neither homogenous nor isotropic. The correlation functions of the field pulsations analyzed are more clearly observed in the thermocline. The characteristic scales perpendicular to the coast are smaller than along it. Examples of smoothing the temperature and salinity fields in the thermocline are given.

Key words: continental shelf, oceanographic survey, internal waves, filtering.

INTRODUCCIÓN

Es conocido que las mareas internas en la plataforma continental originan variaciones verticales significativas de todas las características hidrofísicas. En la plataforma continental, las inclinaciones espaciales de las alturas dinámicas pueden ser mayores hasta en un orden de magnitud que los valores característicos para las regiones de mar abierto (Konyaev y Sabinin, 1992). Seiwel (1939) y después Defant (1950) mostraron por primera vez que, a consecuencia de las mareas internas, las mediciones de la temperatura y salinidad en la plataforma continental pueden dar diferentes resultados desde el punto de vista de las corrientes geostróficas, dependiendo de la fase de marea en que fueron tomadas. Desde que se publicó el trabajo de Defant (1950) sobre las realidades o ilusiones de las mediciones oceanográficas en las regiones con intensas ondas de marea interna, los oceanólogos se dieron cuenta de esta dificultad insuperable y prácticamente se negaron a realizar cálculos de

INTRODUCTION

Internal tides are known to cause significant vertical variations in all the hydrophysical parameters on the continental shelf. The spatial slopes of the dynamic heights on the continental shelf can be up to one order of magnitude greater than the normal values for areas of the open ocean (Konyaev and Sabinin, 1992). Seiwel (1939) and later Defant (1950) were the first to show that internal tides may cause the temperature and salinity measurements on the continental shelf to provide different results with respect to the geostrophic currents, depending on the tidal phase in which they were taken. Since the publication of Defant's (1950) work on the reality and illusion in oceanographic measurements in regions with intense internal tide waves, oceanographers became aware of the insurmountable difficulty and ceased to make calculations of the currents even in the

corrientes incluso en las partes abiertas y profundas de la plataforma continental, donde el balance geostrofico se puede mantener.

Un método propuesto recientemente para la realización de un levantamiento oceanográfico rápido con ayuda de un CTD ondulante en una malla de estaciones frecuentes (Filonov *et al.*, 1996b) permite, en principio, llevar a cabo un levantamiento suficientemente detallado de una región de la plataforma continental en un pequeño lapso de tiempo. Esto da la posibilidad de filtrar las fluctuaciones relacionadas con las ondas internas y en consecuencia realizar los cálculos de corrientes en la plataforma continental por el método geostrofico o con ayuda de modelos más completos.

LEVANTAMIENTO OCEANOGRÁFICO ESPECIAL DE UN POLÍGONO DE MONITOREO ECOLÓGICO EN LA ZONA DE LA PLATAFORMA CONTINENTAL DEL OCÉANO

Para el desarrollo de la metodología de filtrado de las oscilaciones de los campos hidrofísicos en la plataforma continental, se realizó un levantamiento oceanográfico rápido especial en la región de un polígono de monitoreo ecológico de las aguas. El polígono es una área de estudio del Centro de Ecología Costera (Universidad de Guadalajara), situado en Melaque en la Bahía de Navidad. El polígono abarca una región de la plataforma continental que se extiende por cerca de 100 km en las costas de los estados de Jalisco y Colima (fig. 1a). El levantamiento oceanográfico se realizó a bordo de la embarcación de investigación *BIP-V* desde las 8:05 a.m. del 25 de noviembre de 1995 hasta las 11:57 a.m. del día siguiente, en nueve transectos perpendiculares a la línea costera a partir de la isóbata de los 50 m en dirección a mar abierto hasta una distancia de 20 a 25 km de la costa (profundidad de 800 a 1000 m).

open and deep areas of the continental shelf, where the geostrophic balance can be maintained.

Filonov *et al.* (1996b) proposed a method to conduct a fast oceanographic survey with an undulating CTD in a grid of frequent stations that, in principle, allows for a sufficiently detailed survey of an area of the continental shelf in a small lapse of time. The fluctuations related to the internal waves can then be filtered, and the currents on the continental shelf can be calculated with the geostrophic method or with more complete models.

SPECIAL OCEANOGRAPHIC SURVEY OF AN ECOLOGICAL MONITORING POLYGON IN THE AREA OF THE CONTINENTAL SHELF OF THE OCEAN

For the development of the method to filter the oscillations of the hydrophysical fields on the continental shelf, a special fast oceanographic survey was conducted in an ecological monitoring polygon of the Center of Coastal Ecology (University of Guadalajara), located at Melaque in Bahía de Navidad. The polygon covers an area of the continental shelf that extends almost 100 km along the coasts of Jalisco and Colima (fig. 1a). The oceanographic survey was conducted on board the R/V *BIP-V* from 8:05 a.m. on 25 November 1995 to 11:57 a.m. the following day, in nine transects perpendicular to the coastline, from the 50-m isobath to a distance of 20 to 25 km from the coast (depth of 800 to 1000 m).

The ship, equipped with an undulating CTD (SBE-19), worked continuously for

En casi 28 horas de trabajo continuo, la embarcación con un CTD ondulante (SBE-19) recorrió, a una velocidad promedio de 6 nudos (arriba de 11 km/h), más de 140 millas náuticas (cerca de 260 km). En total, se realizaron 86 sondeos verticales hasta un máximo de 100 m de profundidad. La distancia entre las estaciones en los transectos fue de 1.5 a 2 km. El tiempo invertido en la realización de cada sondeo osciló entre 1 y 2.5 minutos, dependiendo de la profundidad del lugar. Durante los sondeos, el CTD se sumergió con una velocidad cercana a 1 m/s en promedio, lo cual, con una discretización de medición de 2 ciclos/s, proporcionó cada 0.5 m el registro vertical de la temperatura, conductividad y profundidad del CTD. Ya que el levantamiento en el polígono seguía exclusivamente fines metodológicos, se utilizaron, para los cálculos y análisis posteriores, datos de los niveles de 0 a 100 m tan solo de cada 10 m.

La posición espacial de los transectos y de las estaciones en ellos se planeó con anticipación a partir de la suposición de que las ondas de marea interna en la plataforma continental se dirigen hacia la costa y, por ello, sus frentes deben de estar extendidos a lo largo de la misma. Por tanto, se supuso la existencia de altas variaciones de los campos hidrofísicos en dirección perpendicular a los frentes de las ondas internas y variaciones pequeñas a lo largo de ellos, esto es, a lo largo de la línea de costa. Las mediciones de la estructura espacial de las ondas internas en la plataforma continental cercana al cabo de Barra de Navidad, mostraron que las oscilaciones originadas por ellas en el campo de la temperatura presentan una longitud de 2 a 8 km (Filonov *et al.*, 1996a, b; Monzón y González, 1997).

La fecha de realización del levantamiento fue especialmente escogida para finales de noviembre, cuando en la región de estudio de la costa mexicana no existen huracanes ni fuertes vientos y la circulación se encuentra debilitada

almost 28 hours at an average speed of 6 knots (more than 11 km/h), covering more than 140 nautical miles (almost 260 km). A total of 86 vertical probes were made up to a maximum depth of 100 m. The distance between the stations in the transects was 1.5 to 2 km. The probes took from 1 to 2.5 minutes, depending on the depth of the site. During the probes, the CTD was submerged at an average speed of 1 m/s. With a discretization of measurement of 2 cycles/s, it provided a vertical record of temperature, conductivity and depth of the CTD every 0.5 m. Since the purpose of the survey was strictly methodological, only data from every 10 m of the 0- to 100-m levels were used for the subsequent calculations and analyses.

The spatial position of the transects and stations was determined in advance, based on the assumption that the internal tide waves on the continental shelf head towards the coast and, therefore, their fronts should also extend along it. Furthermore, high variations were assumed to exist in the hydrophysical fields perpendicular to the internal wave fronts and small variations parallel to them, that is, along the coastline. The measurements of the spatial structure of the internal waves on the continental shelf, close to the end of Barra de Navidad, showed that the oscillations in the temperature field have a length of 2 to 8 km (Filonov *et al.*, 1996a, b; Monzón and González, 1997).

The date of the survey was specifically chosen for the end of November, when there are no hurricanes or strong winds and the circulation in the study area is weakened by breeze (Hidrología del Océano Pacífico, 1968). Based on the observations from the R/V *BIP-V*,

por la brisa (Hidrología del Océano Pacífico, 1968). Sobre la base de nuestros datos de las observaciones desde la nave *BIP-V*, el viento en la franja costera en las horas diurnas del 25 y 26 de noviembre no superó los 5 m/s y el estado de la superficie del mar fue de 1–2° en la escala de Beaufort. En horas nocturnas se registró una calma total. Se puede suponer que en estos días las corrientes de deriva en la plataforma continental fueron muy débiles. En la gráfica de la oscilación del nivel del mar en el puerto de Manzanillo (fig. 1), se ve que el día del levantamiento se registró el momento del cambio de la marea de tipo mezclado, con predominio del armónico semidiurno al de tipo diurno. La marea diurna alcanzó dos veces menor amplitud, presentando en la costa un valor cercano a los 0.5 m.

De esta forma, el levantamiento oceanográfico del polígono fue realizado en un lapso de tiempo con un debilitamiento máximo de los procesos meteorológicos en la capa cercana a la superficie del agua en la zona costera y con amplitudes mínimas de la marea barotrópica y, consecuentemente, con amplitudes de las ondas de marea interna menores que las comunes. Se esperaba que todo lo mencionado de la posibilidad de obtener datos sobre la distribución media tridimensional del campo de temperatura y salinidad en el polígono, con una mínima deformación debido a las componentes aleatorias.

ESTRUCTURA ESTADÍSTICA DE LOS DATOS INICIALES

Presentación de los campos de temperatura y salinidad en forma analítica

Para un exitoso filtrado de las ondas internas es necesario estudiar la estructura estadística de los datos iniciales y encontrar la forma analítica del filtro de suavizado. Tal como se muestra en una serie de trabajos teóricos

the wind along the coast during daylight hours on 25 and 26 November did not exceed 5 m/s and the condition of the sea surface was 1–2° on the Beaufort scale. Total calm was recorded at night. It can be assumed that the drift currents on the continental shelf were very weak at this time. The graph of the sea surface oscillations in the port of Manzanillo (fig. 1) indicates that on the day of the survey, the mixed tide, with predominantly semidiurnal harmonics, changed to diurnal harmonics. The diurnal tide had lower amplitudes, with a value close to 0.5 m on the coast.

In this manner, the oceanographic survey of the polygon was conducted when the meteorological processes in the layer near the water surface in the coastal zone were weakest and the amplitudes of the barotropic tide were lowest. Consequently, the amplitudes of the internal tide waves were lower than usual. These conditions should provide data on the three-dimensional mean distribution of the temperature and salinity fields in the polygon, with minimum deformation due to random components.

STATISTICAL STRUCTURE OF THE INITIAL DATA

Presentation of temperature and salinity fields in analytical form

In order to successfully filter internal waves, it is necessary to study the statistical structure of the initial data and find the analytical form of the smoothing filter. As has been shown in a series of theoretical works (Kolmogorov, 1941; Dotsenko, 1983), the optimum shape of the filter to omit the

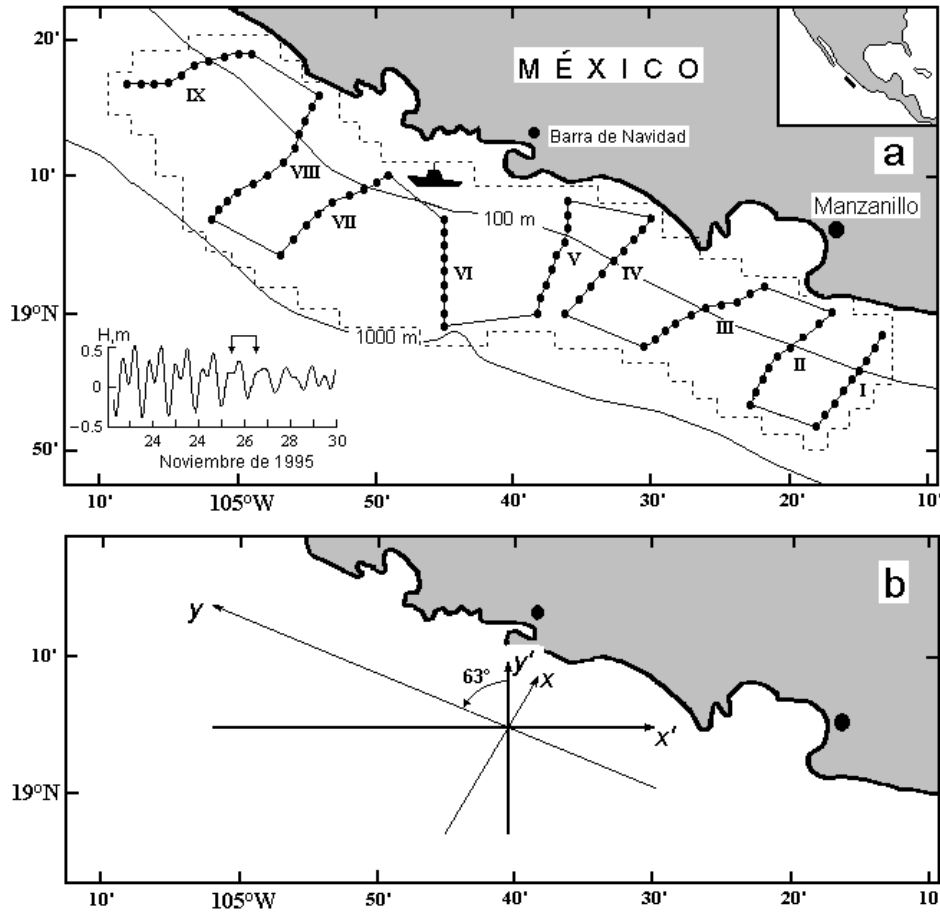


Figura 1. (a) Esquema de la posición de los perfiles realizados el 25 y 26 de noviembre de 1995 con el CTD ondulante, durante el levantamiento oceanográfico rápido en el polígono en la costa de los estados de Jalisco y Colima, México. El número de los transectos se señala con números romanos. En la parte izquierda inferior se muestra el gráfico del comportamiento del nivel del mar en el puerto de Manzanillo. La línea punteada indica la región para la cual se realizaron los cálculos numéricos. (b) Esquema de la posición de los ejes de coordenadas: geográficos y rotados en un ángulo de 63°.

Figure 1. (a) Position of the profiles made on 25 and 26 November 1995 with the undulating CTD, during the fast oceanographic survey on the coast of the states of Jalisco and Colima, Mexico. The transect number is indicated with Roman numerals. The lower left hand corner shows the graphic behavior of the sea level in the port of Manzanillo. The dotted line indicates the area for which the numeric calculations were made. (b) Positions of the coordinate axes: geographic and rotated at a 63° angle.

(Kolmogorov, 1941; Dotsenko, 1983), la forma óptima del filtro para suprimir las variaciones aleatorias del campo hidrofísico depende de la forma de su función de correlación espacial.

Debido a que el levantamiento del polígono se realizó rápidamente, se puede considerar que los campos de las oscilaciones de la temperatura y de la salinidad incluyen sólo tres componentes principales: (1) el de baja frecuencia, que depende de las condiciones fisicogeográficas y que determina los gradientes medios de los campos hidrofísicos en el polígono; (2) el aleatorio, debido a las pulsaciones originadas por las ondas de marea interna; y (3) la componente del comportamiento diario, que depende de la variación de la intensidad de ganancia y pérdida de calor en la capa superficial del océano. Señalemos aquí que las mareas barotrópicas, debido a su gran velocidad de fase, no pueden interactuar directamente con las capas de aguas estratificadas y durante el movimiento por la plataforma continental no originan ninguna mezcla vertical notoria de las isotermas y de las isohalinas (Turner, 1973; Konyaev and Sabinin, 1992).

Ya que las fluctuaciones espaciotemporales de los campos de temperatura y salinidad en el polígono fueron motivadas por las mismas causas, entonces, de las ecuaciones utilizadas para la estimación de los componentes arriba mencionados escribiremos sólo las de temperatura, ya que las de salinidad son análogas. La distribución de temperatura para un nivel constante en el polígono, puede ser expresada como una función de las coordenadas x , y y t , y representada en la forma:

$$T(x, y, t) = T(x, y) + T'(x, y, t) + T_c(t) \quad (1)$$

donde $T(x, y)$ es el miembro que describe el componente de baja frecuencia; $T'(x, y, t)$ es la variación espaciotemporal aleatoria originada por las ondas de marea interna; y $T_c(t)$ es el

random variations of the hydrophysical field depends on the shape of its spatial correlation function.

Since the survey of the polygon was conducted quickly, the temperature and salinity oscillation fields can be considered to include only three principal components: (1) low frequency, which depends on the physical-geographical conditions and determines the mean gradients of the hydrophysical fields in the polygon; (2) random, due to the pulsations created by the internal tide waves; and (3) daily behavior, which depends on the variation of the intensity of the heat exchange in the surface layer of the ocean. Note that the barotropic tides cannot interact directly with the stratified water layers because of their great phase velocity and, as they move over the continental shelf, they do not create any notable vertical mixing of the isotherms or isohalines (Turner, 1973; Konyaev and Sabinin, 1992).

Since the spatiotemporal fluctuations of the temperature and salinity fields in the polygon were due to the same processes, only those of temperature were considered in the equations used to estimate the above mentioned components, since the salinity equations are analogous. The temperature distribution for a constant level in the polygon can be expressed as a function of the x , y and t coordinates, represented in the form:

where $T(x, y)$ describes the low frequency component; $T'(x, y, t)$ is the random spatiotemporal variation created by the internal tide waves; and $T_c(t)$ is the daily fluctuation

comportamiento diario de la temperatura del agua en el mar. Notemos que, en adelante, en todos los cálculos se utilizarán las coordenadas espaciales x , y orientadas perpendicularmente y a lo largo de la costa (tal como se muestra en la fig. 1b). Éstas se calcularon con la conversión de las coordenadas iniciales (x' , y') que también estaban orientadas como las coordenadas geográficas en las que se realizó el levantamiento del polígono, a través de las fórmulas: $x = x' \cos \alpha + y' \sin \alpha$, $y = -x' \sin \alpha + y' \cos \alpha$. Aquí, α es el ángulo entre las coordenadas iniciales y las nuevas. Este ángulo se considera en contra de las manecillas del reloj y es igual a 63° en la región del polígono.

Estimemos la contribución de cada miembro de la ecuación 1. Primeramente, se comprobó la homogeneidad de los datos iniciales de la temperatura y la salinidad. Para ello, todas las estaciones realizadas en la región del polígono se dividieron en dos grupos iguales (de 43 estaciones). Para cada uno de ellos se calcularon las características estadísticas en todos los niveles analizados: valores medios aritméticos y desviaciones medias cuadráticas. Para comparar, se realizaron cálculos análogos con todas las estaciones del polígono. Los resultados se presentan en la tabla 1. Se ve claramente que los campos de temperatura y de salinidad son comparativamente homogéneos en cuanto a sus pulsaciones, de las cuales los mayores valores espaciales (desviaciones medias cuadráticas) se presentan (tal como debe ser) en la capa de la termoclina (niveles 40 a 50 m), ya que por ella se propaga la energía principal de las ondas internas en las aguas someras. También se ve que los valores medios se diferencian significativamente en dos grupos de estaciones. En la termoclina, esta diferencia es superior a 1°C . Contrariamente, la salinidad presenta diferencias pequeñas en todos los niveles.

De esta forma podemos decir que el miembro $T(x, y)$ es comparable a las dimensiones

of the temperature of the sea water. Note that in all the equations that follow, the spatial coordinates x , y are oriented perpendicular and parallel to the coast (as shown in fig. 1b). These were calculated with the rotation of the initial coordinates (x' , y') that were also oriented as the geographic coordinates used in the survey of the polygon, with the formulas: $x = x' \cos \alpha + y' \sin \alpha$, $y = -x' \sin \alpha + y' \cos \alpha$. Here, α is the angle between the initial and new coordinates. In the polygon, it is clockwise and equal to 63° .

We will estimate the contribution of each member of equation 1. First, homogeneity of the initial temperature and salinity data was proven. For this, all the stations surveyed in the polygon were divided into two equal groups (43 stations). The statistical characteristics were calculated for each group in all the levels analyzed: mean arithmetic values and quadratic mean deviations. For comparison purposes, analogous calculations were made of all the stations in the polygon. The results are shown in table 1. The temperature and salinity fields are comparatively homogenous with regard to pulsations. The highest spatial values (quadratic mean deviations) occur (as they should) in the upper layer of the thermocline (40–50 m levels), since the principal energy of the internal waves propagates on the shelf. It is also observed that the mean values are significantly different between the two groups of stations. In the thermocline, this difference is greater than 1°C . However, salinity shows small differences in all levels.

In this manner, we can state that the member $T(x, y)$ is comparable to the dimensions of the polygon (approximately 100×20 km) and depends on the spatial

Tabla 1. Características estadísticas de la distribución vertical de temperatura (°C), salinidad (psu) y sus desviaciones medias cuadráticas (DMC) en el polígono sobre la base de los datos obtenidos por el levantamiento oceanográfico rápido del 25 y 26 de noviembre de 1995.
Table 1. Characteristics of the vertical distribution of temperature (°C), salinity (psu) and their mean square deviations (DMC) in the polygon based on the data obtained in the fast oceanographic survey of 25 and 26 November 1995.

Tipo de agrupación de los datos	Característica	Tipo de la estimación estadística	Niveles (m)										
			0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
86 estaciones	Temperatura	Media	27.54	27.10	25.95	23.93	22.04	19.74	17.84	16.40	15.55	15.31	14.82
		DMC	0.52	0.62	0.75	0.88	1.62	1.23	0.89	0.71	0.41	0.35	0.29
	Salinidad	Media	33.68	33.78	34.08	34.82	34.74	34.75	34.73	34.84	34.86	34.88	34.91
		DMC	0.13	0.18	0.20	0.33	0.47	0.34	0.19	0.12	0.10	0.09	0.09
43 estaciones de la primera parte del levantamiento	Temperatura	Media	27.67	27.42	26.12	24.18	22.66	20.38	18.36	16.83	15.72	15.40	14.91
		DMC	0.51	0.63	0.76	0.92	1.50	1.25	0.83	0.64	0.43	0.37	0.31
	Salinidad	Media	33.72	33.82	34.18	34.82	34.75	34.76	34.74	34.85	34.94	34.96	34.98
		DMC	0.13	0.12	0.21	0.29	0.50	0.36	0.21	0.15	0.09	0.08	0.09
43 estaciones de la segunda parte del levantamiento	Temperatura	Media	27.32	27.12	25.76	23.68	21.44	19.11	17.33	15.98	15.39	15.29	14.79
		DMC	0.46	0.61	0.69	0.78	1.51	1.17	0.73	0.49	0.32	0.32	0.29
	Salinidad	Media	33.64	33.68	34.06	34.82	34.73	34.74	34.73	34.84	34.84	34.88	34.99
		DMC	0.10	0.13	0.18	0.34	0.48	0.32	0.18	0.12	0.11	0.09	0.10

del polígono (aproximadamente 100×20 km) y depende de las coordenadas espaciales; es necesario considerar esto al construir el algoritmo de suavizado. La expresión analítica para este miembro se presentó en la forma del polinomio:

$$\bar{T}(x, y) = a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4y^2 \quad (2)$$

en donde a_0, a_1, a_2, a_3 y a_4 son coeficientes, los cuales se determinan por el método de mínimos cuadrados por la condición de la minimización de la suma:

$$\sum_{i=1}^N [T_i - (a_0 + a_1x_i + a_2y_i + a_3x_i^2 + a_4y_i^2)]^2 = \min \quad (3)$$

Aquí, N es el número de estaciones oceanográficas en el polígono. En los cálculos, los ejes de las coordenadas x , y se relacionaron con el centro del polígono (punto $19^\circ 05' N, 104^\circ 40' W$).

Las oscilaciones de temperatura y de salinidad relacionadas con el comportamiento diario se pueden considerar como iguales para todo el polígono debido a la pequeña área del levantamiento. Con base en los perfiles verticales del CTD del 29 y 30 de septiembre de 1995, realizados cada 20 minutos durante un lapso de 25 horas desde la nave anclada a una distancia de 2.5 km de la costa, casi en el centro del polígono, las oscilaciones de la temperatura superficial en el transcurso de un día alcanzaron $0.53^\circ C$ y la salinidad, 0.17 ups (fig. 2). Éstas fueron altamente coherentes con las fluctuaciones de estas características en los niveles de 5 y 10 m, y a mayor profundidad, prácticamente hasta el fondo (profundidad 50 m). Una débil mezcla por viento durante los días del levantamiento dio las condiciones para la formación de una estratificación estable casi desde la superficie del océano. Las variaciones observadas de la temperatura superficial y de la

coordinates; this must be taken into account when constructing the smoothing algorithm. The analytical expression for this member is presented in the form of the polynomial:

where a_0, a_1, a_2, a_3 , and a_4 are coefficients, determined with the least squares method by the condition of the minimization of the sum:

Here, N is the number of oceanographic stations in the polygon. In the calculations, the x and y axes are related to the center of the polygon (point $19^\circ 05' N, 104^\circ 40' W$).

The oscillations in temperature and salinity related to daily behavior can be considered equal for the entire polygon due to the small survey area. Based on the vertical profiles of the CTD of 29 and 30 September 1995, conducted every 20 minutes during 25 hours from the ship moored 2.5 km from the coast, almost in the center of the polygon, the oscillations of the surface temperature during the day reached $0.53^\circ C$ and salinity, 0.17 psu (fig. 2). They concur with the fluctuations at the 5- and 10-m levels, and at greater depth, almost at the bottom (depth of 50 m). A weak mixing by wind during the survey provided the conditions for the formation of a stable stratification almost from the ocean surface. The variations observed in the surface temperature and salinity may have been due to the

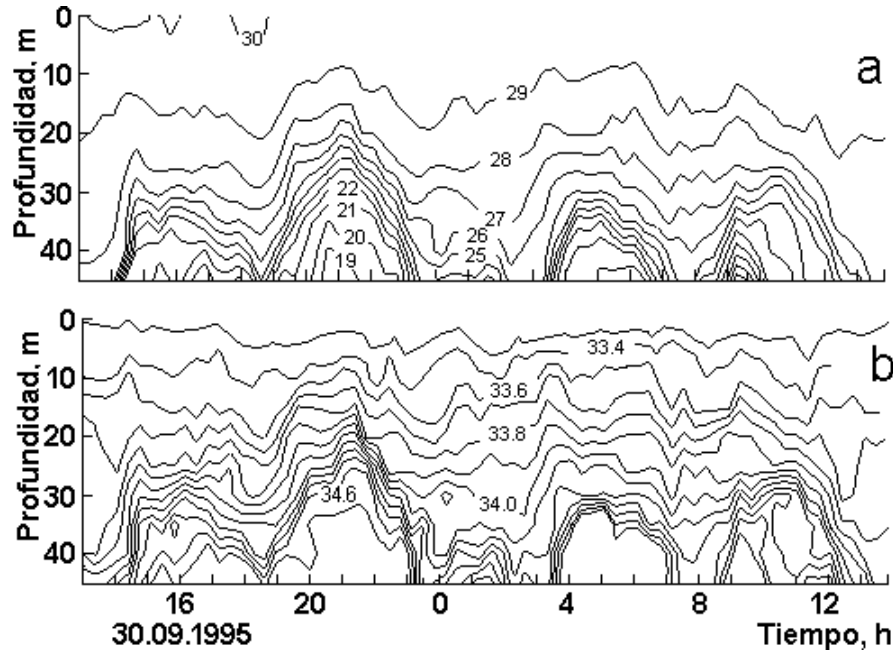


Figura 2. Fluctuaciones de (a) temperatura y (b) salinidad sobre la base de los perfiles verticales del CTD realizados desde la embarcación anclada a 2.5 km de la costa (la posición de la embarcación se muestra con un signo en la figura 1). Los sondeos se realizaron cada 20 minutos durante 25 horas el 29 y 30 de septiembre de 1995. La profundidad media de la estación es 50 m. La discretización vertical de medición es 0.25 m.

Figure 2. Fluctuations of (a) temperature and (b) salinity based on the vertical profiles of the CTD made from a ship moored 2.5 km from the coast (the position of the ship is indicated in figure 1). The probes were made every 20 minutes during 25 hours on 29 and 30 September 1995. Mean depth of the station is 50 m. The vertical discretization of measurement is 0.25 m.

salinidad posiblemente fueron originadas por los movimientos orbitales en las ondas internas de marea, las que en tiempo calmado frecuentemente alcanzan la superficie del mar (Konyaev y Sabinin, 1992). Estos procesos superan en amplitud a las oscilaciones del comportamiento diario y las enmascaran.

Las ondas de marea interna, a diferencia de las mareas barotrópicas, son un proceso irregular y complejo. En las cercanías del talud continental estas ondas presentan la forma de un frente sumergido e inclinado y una parte trasera

orbital movements of the internal tide waves, which in the calm period frequently reach the sea surface (Konyaev and Sabinin, 1992). These processes have a greater amplitude than the oscillations of the daily behavior and mask them.

Unlike barotropic tides, internal tide waves are complex and irregular processes. Close to the continental slope, these waves have a submerged, inclined front and a smoother back. Because of the proximity of the bottom

más suave. Cerca de la costa, debido a la cercanía del fondo, éstas se vuelven no lineales y se desintegran en grupos de ondas de periodo corto, en las que la forma de su perfil se parece a los solitones de Korteweg-de Vries (Filonov, 1997). Para el análisis de su estructura temporal en diferentes secciones de la plataforma continental, es necesario realizar (con ayuda de anclajes) mediciones prolongadas de las fluctuaciones de temperatura y salinidad. No es posible considerar la estructura temporal con base en los datos del levantamiento realizado debido a que los sondeos verticales se realizaron en diferentes momentos de tiempo y en diferentes secciones de la plataforma continental. Los perfiles de temperatura y salinidad obtenidos como resultado del levantamiento oceanográfico del 25 al 26 de noviembre de 1995, contienen diferentes niveles de “contaminación” debido a las ondas internas. En promedio, el nivel de esta “contaminación” refleja la intensidad de las ondas internas para la sección de la plataforma continental que abarca el polígono. Debido a que las mediciones se realizaron durante casi 27 horas, prácticamente en el momento de la marea diurna (fig. 1a), se puede asegurar que en este tiempo en el polígono existían ondas internas de todas las amplitudes y, por consiguiente, los datos iniciales fueron obtenidos con todos los niveles de “contaminación” posible.

Aquí no se consideró la estructura temporal de las ondas internas y, debido a las peculiaridades de la medición, su campo se consideró independiente del tiempo, esto es, $t = 0$. En la práctica de las mediciones oceanográficas, tal condición casi siempre se utiliza para la interpretación de los resultados de los levantamientos de regiones en el mar, lo cual por lo general se realiza desde una embarcación durante varios días y las cartas de distribución resultantes, por ejemplo de la temperatura, se relacionan con un segmento promedio de un tiempo de medición, tal como una semana, un mes, etc.

near the coast, they become nonlinear and disintegrate into short-period wave groups, with a profile similar to the Korteweg-de Vries soliton (Filonov, 1997). In order to analyze their temporal structure in different sections of the continental shelf, prolonged measurements (with the help of anchors) of the fluctuations in temperature and salinity are needed. It was not possible to consider their temporal structure based on the data of the survey conducted, because the vertical probes were made at different times and sections of the continental shelf. The temperature and salinity profiles obtained from the oceanographic survey of 25–26 November 1995 contain different levels of “contamination” due to the internal waves. On average, the level of “contamination” reflects the intensity of the internal waves per section of continental shelf covered in the polygon. Since the measurements were made during almost 27 hours at diurnal tide (fig. 1a), the existence of internal waves of all amplitudes in the polygon is assured, and consequently the initial data obtained contained all levels of “contamination” possible.

The temporal structure of the internal waves is not considered in this study and, due to the peculiarities of the measurement, their field was considered independent of time, that is, $t = 0$. This condition is almost always used in oceanographic measurements to interpret the results of oceanic surveys, which are generally conducted from a ship for many days. The resulting distribution charts, of temperature for example, are then related to an average segment of a time of measurement, such as a week, month, etc. In this study, the component of the temperature and salinity fields in the

De esta forma, en nuestros cálculos se consideró que en el polígono la componente del campo de la temperatura y de la salinidad se determina completamente por las pulsaciones debido a las ondas internas. Se consideró que $T'(x, y, t) = T'(x, y)$ y se determinó como:

$$T'(x, y) = T(x, y) - T(x, y) = T(x, y) - a_0 - a_1x - a_2y - a_3x^2 - a_4y^2 \quad (4)$$

Aquí y anteriormente (fórmulas 1 a 3), las dimensiones lineales de los ejes de las coordenadas x, y corresponden a las dimensiones del polígono en las direcciones perpendicular y paralela a la costa.

En la suposición de homogeneidad del campo de desviaciones de temperatura y de salinidad, se calcularon en cada nivel las estimaciones de las funciones normalizadas de correlación espacial por medio de la relación (Konyaev, 1990):

$$B(i\Delta x, j\Delta y) = \frac{1}{N^2 \cdot \sigma^2} \sum_{l=1}^N \sum_{k=1}^N T'(l \cdot \Delta x, k \cdot \Delta y) \cdot \quad (5)$$

$$T'[(l+i)\Delta x, (k+j)\Delta y], \quad i = 0, N-1; \quad j = 0, N-1$$

Además, prácticamente la sumatoria incluye las partes integrantes $(N-i)(N-j)$. En la fórmula 5 se adoptó la siguiente simbología: i y j , el número actual de los valores de la función de correlación para los ejes X y Y , coinciden en dirección con los ejes de las coordenadas x y y ; N , la cantidad total de los valores del campo de la temperatura; l y k , los valores actuales del campo de temperatura; Δx y Δy , la distancia entre los valores del campo en los ejes x y y ; $\sigma^2 = B(0, 0)$ es la varianza del campo. Debido a la simetría central de la función $B(i\Delta x, j\Delta y)$, los valores negativos de i, j no se incluyen. Cálculos de prueba demostraron que la función de correlación espacial de temperatura y salinidad en el polígono caen rápidamente en el eje

polygon was determined entirely from pulsations due to the internal waves, considering that $T'(x, y, t) = T'(x, y)$ and was determined as:

In this and the previous formulas (1 to 3), the linear dimensions of the axes of the x, y coordinates correspond to the dimensions of the polygon perpendicular and parallel to the coast.

Assuming homogeneity in the temperature and salinity deviation fields, the estimates of the normalized spatial correlation functions were calculated for each level with the equation (Konyaev, 1990):

Also, the sum really includes the integrating terms $(N-i)(N-j)$. The following symbolism is adopted in formula 5: i and j , the actual number of correlation function values for the X and Y axes, which coincide in direction with the axes of the x and y coordinates; N , the total number of values of the temperature field; l and k , the actual values of the temperature field; Δx and Δy , the distance between the field values on the x and y axes; $\sigma^2 = B(0, 0)$ is the variance of the field. Due to the central symmetry of the function $B(i\Delta x, j\Delta y)$, the negative values of i and j are not included. Test calculations show that the spatial correlation functions of temperature and salinity in the polygon drop quickly on the X axis and,

X , por ello los cálculos se realizaron para las distancias máximas $X = 18$ km y $Y = 36$ km.

En la oceanografía, como norma, los levantamientos de los campos hidrofísicos se realizan en una red de puntos no equidistantes: esto no interfiere al realizar los cálculos de los espectros y funciones de correlación espacial. Efectivamente el levantamiento oceanográfico analizado contiene 86 sondeos verticales. Por ello, en cada nivel la función de correlación espacial se calculó por medio de los siguientes términos: $M = N \cdot (N - 1)/2 = 86 \cdot 85/2 = 3655$, donde M es el número de los posibles pares de valores del campo de temperatura. De esta manera, en cada intervalo espacial ($i\Delta x, j\Delta y$), para nuestro caso un cuadrado con lados de 0.5×0.5 km, cayeron algunos cientos de sumandos para valores bajos de i, j , y hasta decenas de sumandos para valores máximos.

En la figura 3 se dan secciones de las estimaciones de las funciones de correlación normalizadas (en porcentaje con relación al valor máximo) espacial de la temperatura a lo largo de los ejes horizontales y por la coordenada vertical. Aquí mismo se muestra la función de correlación promedio. Ésta se calculó como la suma de los resultados de las funciones no normalizadas en niveles independientes, con su normalización subsecuente al valor máximo obtenido (en porcentaje). La figura muestra que los valores máximos de la función de correlación se alcanzan en la capa de la termoclina, arriba y abajo de la cual se amortiguan exponencialmente. A la función de correlación se le atribuye una anisotropía significativa, esto es, ella presenta una disminución más rápida por el eje Δx (perpendicular a la línea de costa) que por el eje Δy (paralelo a la costa).

Para el cálculo de los coeficientes de peso de suavizado, fue necesario representar las funciones de correlación espacial en forma analítica. Éstas se aproximaron a la expresión:

$$B'(\Delta x, \Delta y) = e^{-(c_1\Delta x + c_2\Delta y)} \cdot \cos(d_1\Delta x + d_2\Delta y) \quad (6)$$

therefore, the calculations were made for the different maximum distances $X = 18$ km and $Y = 36$ km.

In oceanography, surveys of hydrophysical fields are usually conducted in a grid of nonequidistant points; this does not interfere in the calculations of the spatial spectra and spatial correlation functions. In fact, the oceanographic survey analyzed contains 86 vertical probes. Therefore, the spatial correlation function at each level was calculated by means of the following terms: $M = N \cdot (N - 1)/2 = 86 \cdot 85/2 = 3655$, where M is the number of possible pairs of values of the temperature field. Thus, at each spatial interval ($i\Delta x, j\Delta y$), in this case, a square with sides of 0.5×0.5 km, hundreds of sums dropped for values below i and j and tens of sums for maximum values.

Figure 3 shows sections of the estimates of the normalized spatial correlation functions of temperature (percentage in relation to the maximum value) along the horizontal and vertical axes. The average correlation function is also shown. This was calculated as the sum of the results of the functions not normalized in independent levels, with their subsequent normalization to the maximum value obtained (percentage). The figure shows that the maximum correlation function values occur in the thermocline; the values above and below this layer exponentially decrease. A significant anisotropy is attributed to the correlation function, that is, it presents a more rapid decrease by the Δx axis (perpendicular to the coastline) than by the Δy axis (parallel to the coastline).

In order to calculate the smoothing weighting coefficients, the spatial correlation functions must be represented in an analytical form. These are explained by:

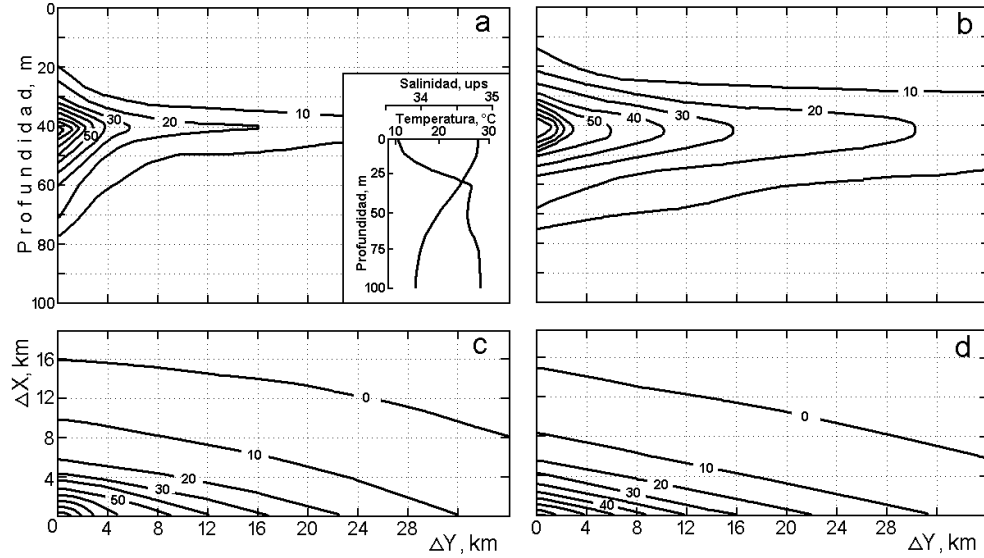


Figura 3. Cortes verticales y horizontales de la función de autocorrelación normalizada (en porcentaje con relación al valor máximo) de las desviaciones del campo de temperatura, calculada por los datos del levantamiento oceanográfico del 25 y 26 de noviembre de 1995. **(a)** Corte perpendicular a la costa (en el interior de la figura se muestran los perfiles verticales obtenidos a través de la promediación de todos los perfiles verticales de la temperatura y salinidad en el polígono); **(b)** paralelo a ella. **(c, d)** La función de autocorrelación normalizada para todos los niveles y su aproximación analítica mediante la función:

$$B(\Delta x, \Delta y) = e^{-(0.131\Delta x + 0.513\Delta y)} \cdot \cos(0.0154\Delta x + 0.0237\Delta y) .$$

Figure 3. Vertical and horizontal cuts of the normalized autocorrelation function (percentage related to the maximum value) of the temperature field deviations, calculated with the data from the oceanographic survey of 25 and 26 November 1995. **(a)** Cut perpendicular to the coast (the vertical profiles obtained by averaging all the vertical temperature and salinity profiles in the polygon are shown within the figure); **(b)** parallel to the coast. **(c, d)** The autocorrelation function normalized for all levels and its analytical approximation with the function: $B(\Delta x, \Delta y) = e^{-(0.131\Delta x + 0.513\Delta y)} \cdot \cos(0.0154\Delta x + 0.0237\Delta y) .$

bajo la cual las funciones empíricas se “ajustaron” con ayuda del método de mínimos cuadrados. Los coeficientes buscados en la ecuación 6 variaron en diferentes niveles en los límites: c_1 , de 0.107 a 0.142; c_2 , de 0.475 a 0.616; d_1 , de 0.0117 a 0.0267; y d_2 , de 0.0112 a 0.0421. Para la función de correlación media de todos los niveles, los coeficientes fueron: $c_1 = 0.131$, $c_2 = 0.513$, $d_1 = 0.0154$ y $d_2 = 0.0237$.

under which the empirical functions were “fit” with the minimum squares method. The coefficients sought in equation 6 varied in different levels in the limits: c_1 , from 0.107 to 0.142; c_2 , from 0.475 to 0.616; d_1 , from 0.0117 to 0.0267; and d_2 , from 0.0112 to 0.0421. For the mean correlation function of all the levels, the coefficients were: $c_1 = 0.131$, $c_2 = 0.513$, $d_1 = 0.0154$ and $d_2 = 0.0237$.

Algoritmo de filtrado de las ondas internas en el polígono

Los valores de temperatura y salinidad que no contienen “contaminación” debido a las ondas internas, se calcularon (para una malla regular de puntos en el polígono) como la suma del componente de baja frecuencia $T(x, y)$ y el complemento aleatorio, que se encontró a través del suavizado (interpolación) de las desviaciones del campo por medio de la fórmula:

$$T_0' = \sum_{i=1}^M P_i T_i' \quad (7)$$

Aquí, $i = 0$ corresponde al punto para el cual se calcula el dato del campo suavizado; T_i' es el valor de la desviación del campo en cada uno de los puntos M que se sitúan en los límites de la región de la escala característica de la función de correlación espacial; P_i son los valores de los pesos en los respectivos puntos $\sum_{i=1}^M P_i = 1$. El valor del peso en cada M puntos se determina por el valor de la función de correlación normalizada del campo de desviaciones. De esta manera, el valor suavizado (interpolado) del campo se determina por la expresión:

$$T_0' = \sum_{i=1}^M T_i' B_i / \sum_{i=1}^M B_i \quad (8)$$

donde B_i es el valor de la función en el punto con la desviación T_i' .

Notamos que el número de puntos M se determina por la forma y dimensiones de $B(\Delta x, \Delta y)$. En diferentes aplicaciones prácticas existen muchas formas de asignar la escala característica r de la función de

Filtering algorithm of the internal waves within the polygon

The temperature and salinity values that did not contain “contamination” from the internal waves were calculated (for a regular grid of points in the polygon) as the sum of the low frequency component $T(x, y)$ and the random complement, which was found in the smoothing (interpolation) of the field deviations with the formula:

Here, $i = 0$ corresponds to the point for which the datum of the smoothed field is calculated; T_i' is the value of the deviation of the field in each of the M points located in the limits of the characteristic scale of the spatial correlation function; P_i are the weighting values in the respective points $\sum_{i=1}^M P_i = 1$. The weighting value in each M point is determined by the value of the normalized correlation function of the deviation field. In this manner, the smoothed (interpolated) value of the field is determined with the expression:

where B_i is the value of the function in the point with deviation T_i' .

Note that the number of M points is determined by the shape and dimensions of $B(\Delta x, \Delta y)$. In other practical applications, there are many ways to assign the characteristic r scale of the spatial correlation

correlación espacial. En calidad de este valor utilizamos el argumento $B(\Delta x, \Delta y)$, comenzando de tal valor que se cumpla la relación: $|B(\Delta x, \Delta y)| \leq \gamma |B(\Delta x, \Delta y)|_{max}$, para todos $\Delta x, \Delta y \geq r$. Aquí, $\gamma = 2^{-1/2} = 0.707$. En la radiotécnica, generalmente por esta condición se determina la anchura del diagrama de direccionalidad de la antena por medio de la tensión del campo eléctrico (Dotsenko, 1983; Konyaev, 1990).

De esta forma, en el número de datos de la desviación T'_i considerado al calcular el valor suavizado T'_0 , cayeron todos los valores que se encontraban en la región que abarca la función de correlación ubicada en el punto $i = 0$ (desde su valor máximo hasta el nivel de 30%). En promedio, el valor T'_0 se calculó por 4–8 valores de T'_i y la región que abarcaba el suavizado se componía aproximadamente de 6×29 km.

Ya que el error de medición de la temperatura y de la salinidad con el CTD SBE-19 es mucho menor que los errores surgidos durante el cálculo de sus valores suavizados, entonces en la fórmula 7 se suprime el miembro que se considera el error de medición de los datos iniciales. La raíz cuadrada del error medio cuadrático de suavizado \sqrt{E} y su medida ϵ , se encontraron para cada nivel y para cada nodo de la malla por las fórmulas (Beliayev, 1973; Gandin y Kagan, 1976):

$$E = \epsilon \bar{T}^2; \quad \epsilon = 1 - \sum_{i=1}^M B_{0i} P_i \quad (9)$$

Los valores máximos, 0.47°C y 0.12 ups, se encontraron en la termoclina en el nivel de 40 m. En los demás niveles el error fue menor y en los niveles de 30, 70 y 80 m no superó los 0.21°C y 0.04 ups.

function. We used the argument $B(\Delta x, \Delta y)$ as this value, starting at the value that meets the relation: $|B(\Delta x, \Delta y)| \leq \gamma |B(\Delta x, \Delta y)|_{max}$, for all $\Delta x, \Delta y \geq r$. Here, $\gamma = 2^{-1/2} = 0.707$. In radio-technology, the width of the directionality diagram of the antenna is generally determined for this condition by means of the electric field tension (Dotsenko, 1983; Konyaev, 1990).

Thus, in the number of data of the T'_i deviation considered in the calculation of the smoothed value T'_0 , all the values found in the correlation function located at point $i = 0$ dropped (from the maximum value to the level of 30%). On average, the T'_0 value was calculated for 4–8 values of T'_i and the area of the smoothed value is approximately 6×29 km.

Since the error of measurement for temperature and salinity with the SBE-19 CTD is much lower than the error from the calculation of their smoothed values, then the member that considers the error of measurement for the initial data in formula 7 is omitted. The mean square error \sqrt{E} and its measure ϵ were found for each level and node of the grid with the formulas (Beliayev, 1973; Gandin and Kagan, 1976):

The maximum values, 0.47°C and 0.12 psu, were found in the thermocline at the 40-m level. The error was less at the other levels, and at the 30-, 70- and 80-m levels, it did not exceed 0.21°C and 0.04 psu.

RESULTADOS DEL CÁLCULO DE LOS CAMPOS SUAVIZADOS DE TEMPERATURA Y DE SALINIDAD EN EL POLÍGONO

Con la metodología arriba mencionada se llevó a cabo el filtrado de las fluctuaciones espaciales de temperatura y salinidad relacionadas con las mareas internas en el polígono y se realizó la interpolación de estas características en los nodos de una malla de puntos. El paso de interpolación por el espacio fue cerca de 2 km (0.02° de latitud).

Debido a que los resultados cualitativos del suavizado e interpolación para diferentes niveles del polígono se diferencian muy poco entre ellos, entonces aquí veremos sólo un ejemplo de los cálculos para el nivel de 40 m que es el más “contaminado” por las ondas internas. La figura 4(a, c) muestra la distribución inicial de la temperatura y de la salinidad. Éstas fueron obtenidas con ayuda de una interpolación común de los datos medidos en los nodos de la malla de puntos de cálculo a través de un *spline* cúbico. Tal como se ve, el relieve de los campos de temperatura y salinidad iniciales es muy parecido. Es complejo y excedido en crestas y valles de diferente extensión y forma, originados por el levantamiento y sumersión de aguas debido a las ondas internas. Las variaciones espaciales de la temperatura alcanzaron casi 6°C y en el centro del polígono, en una parte muy angosta, fueron cercanos a 1°C/km.

Los campos suavizados de temperatura y salinidad (fig. 4b, d) presentan un relieve que cambia suavemente, con una disminución general de la temperatura en 2.5°C y un incremento de la salinidad en tan solo 0.4 ups a lo largo de la costa desde el ángulo suroriental del polígono en dirección noroccidental. En el campo suavizado no existen grandes gradientes espaciales. En promedio, el valor de los gradientes de temperatura a lo largo de la costa no es mayor que 0.05°C/km y perpendicularmente

RESULTS OF THE CALCULATION OF THE SMOOTHED TEMPERATURE AND SALINITY FIELDS IN THE POLYGON

Using the method described above, the spatial fluctuations of temperature and salinity related to the internal tides of the polygon were filtered, and the characteristics in the nodes of the grid of points were interpolated. The interpolation step through space was close to 2 km (0.02° latitude).

Since the qualitative results of the smoothing and interpolation of the different levels in the polygon are not very different, we will discuss only one example of the calculations for the 40-m level, which is the most “contaminated” by the internal waves. Figure 4(a, c) shows the initial temperature and salinity distributions. These were obtained with a common interpolation of the data measured in the nodes of the grid of calculation points with a cubic spline. The reliefs of the initial temperature and salinity fields are very similar. They are complex and have many crests and valleys of varying sizes and shapes, created by the survey and submersion of waters due to the internal waves. The spatial variations of temperature reached almost 6°C, and in a very narrow part in the center of the polygon they were close to 1°C/km.

The smoothed fields of temperature and salinity (fig. 4b, d) present a relief that changes gradually, with a general decrease in temperature of 2.5°C and an increase in salinity of only 0.4 psu along the coast from the southeast angle of the polygon towards the northwest. There are no large spatial gradients in the smoothed field. On average, the value of the temperature gradients along the coast is not greater than 0.05°C/km, and perpendicular to the coast, it is nearly zero. The variations of the smoothed salinity field

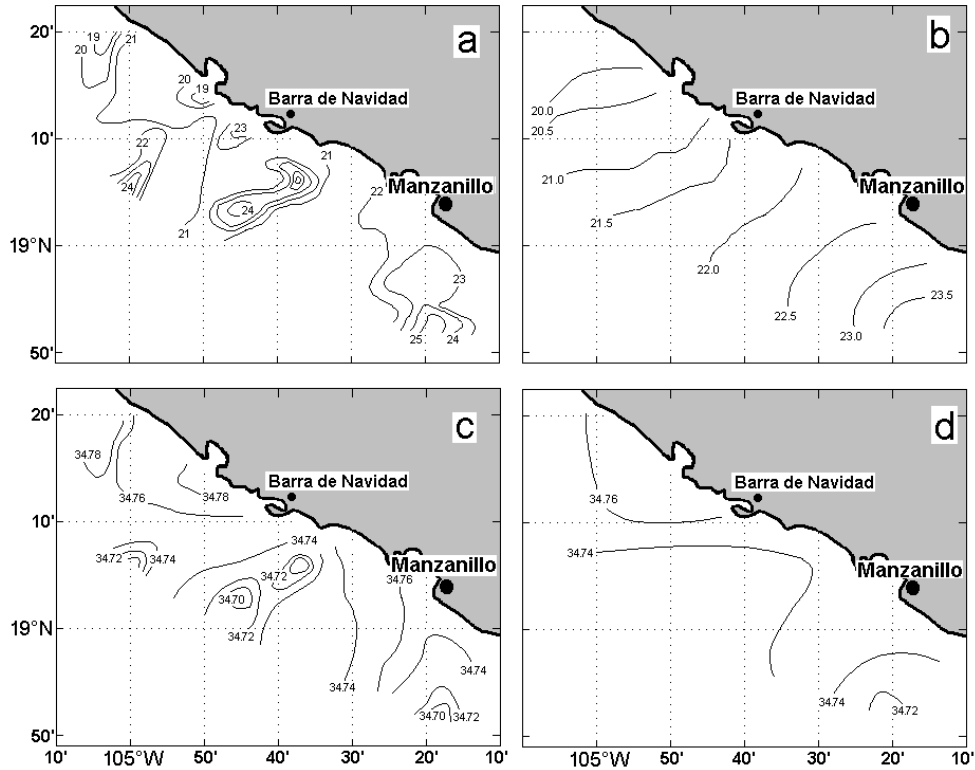


Figura 4. Distribución de temperatura y de salinidad en el nivel de 40 m sobre la base del levantamiento oceanográfico realizado en el polígono el 25 y 26 de noviembre de 1995. (a, c) Distribución de la temperatura y la salinidad interpoladas en los nudos de una malla regular con ayuda de un *spline* cúbico. (b, d) Distribución con las oscilaciones filtradas de pequeña escala originadas por las ondas internas.

Figure 4. Distribution of temperature and salinity at the 40-m level based on the oceanographic survey conducted in the polygon on 25 and 26 November 1995. (a, c) Distribution of temperature and salinity interpolated in the nodes of a regular mesh with a cubic spline. (b, d) Distribution with the filtered small-scale oscillations created by the internal waves.

a la costa son cercanos a cero. Las variaciones del campo suavizado de la salinidad en comparación con el campo de la temperatura son muy pocas y se puede considerar que la salinidad en cada nivel del polígono es espacialmente homogénea.

En conclusión, se señala que, tal como fue mostrado anteriormente, el método planteado da la posibilidad de filtrar las variaciones

compared to the temperature field are very few. It can be considered that salinity is spatially homogeneous in each level of the polygon.

In conclusion, it is noted that the method proposed provides the possibility of filtering the random variations of the hydrophysical fields created by internal waves on the continental shelf. The smoothed fields obtained

aleatorias de los campos hidrofísicos originados por las mareas internas en la plataforma continental. Finalmente, los campos suavizados obtenidos evidentemente pueden ser utilizados para el cálculo de las corrientes en la región de la plataforma continental. Claro que hasta que no se realicen mediciones instrumentales de las corrientes en el polígono, detalladas y por largos periodos, no se podrá hablar con seguridad sobre la confiabilidad del método. Sin embargo, desde noviembre de 1995, en el polígono se realizan levantamientos mensuales con el método descrito. Estos datos, en cualquier caso, son únicos y permitirán en un futuro estudiar detalladamente la estructura termohalina de las aguas en la zona costera, así como su variabilidad estacional

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus sinceros agradecimientos a Enrique Godínez-Domínguez, director del Centro de Ecología Costera de la Universidad de Guadalajara, y a la tripulación de la embarcación *BIP-V* por su constante ayuda en la realización de mediciones en el mar. De la misma forma, agradece a Arturo Figueroa-Montaño y a Federico Velázquez-Muñoz la ayuda en las mediciones con el CTD ondulante, así como con el procesamiento primario de los datos. Este trabajo se realizó en el marco del proyecto No. 1449-PT, financiado por CONACYT, por lo que también expreso mi agradecimiento.

REFERENCIAS

- Beliayev, V.Y. (1973). Procesamiento y análisis teórico de las observaciones oceanográficas. Kiev, Naukova Dumka, 296 c. (en ruso).
- Defant, A. (1950). Reality and illusion in oceanographic surveys. *J. Mar. Res.*, 9(2): 15–31.
- Dotsenko, S.V. (1983). Procesos Aleatorios en las Mediciones Hidrofísicas. Leningrado, Hidrometeoizdat, 240 pp. (en ruso).
- can be used to calculate the currents in the area of the continental shelf. However, until more detailed and long-term instrumental measurements are made of the currents in the polygon, the reliability of the method cannot be assured. Since November 1995, monthly surveys have been made in the polygon with the method described. These data are unique and will permit the future detailed study of the thermohaline structure of the waters in the coastal zone, as well as the seasonal variability.

ACKNOWLEDGEMENTS

The author thanks Enrique Godínez-Domínguez, director of the Center of Coastal Ecology of the University of Guadalajara, and the crew of the R/V *BIP-V* for their help with the measurements at sea; as well as Arturo Figueroa-Montaño and Federico Velázquez-Muñoz for their help with the undulating CTD and the primary processing of the data. This study was financed by CONACYT, project 1449-PT.

English translation by Jennifer Davis.

-
- Filonov, A.E. (1997). Researchers Study Tsunami Generated by Mexican Earthquake. *EOS*, 78(21): 21–25.
- Filonov, A.E., Monzón, C. y Tereshchenko, I. (1996a). Acerca de las condiciones de generación de las ondas internas de marea en la costa occidental de México. *Ciencias Marinas*, 22(3): 255–272.
- Filonov, A.E., Monzón, C.O. and Tereshchenko, I.E. (1996b). A technique for fast conductivity-temperature-depth oceanographic surveys. *Geofísica Int.*, 35(4): 415–420.
- Gandin, L.S. y Kagan, P.L. (1976). Métodos Estocásticos de Interpretación de Datos Meteorológicos. Leningrado, Hydrometeoizdat, 360 pp. (en ruso).

Filonov: Estructura espacial de los campos de temperatura y salinidad en presencia de ondas internas

- Hidrología del Océano Pacífico (bajo la redacción de A.D. Dobrovolsky) (1968). Nauka, Moscú, 524 pp. (en ruso).
- Kolmogorov, A.N. (1941). Interpolación y extrapolación de los sucesos estacionarios aleatorios. *Izv. AN SSSR, Ser. Matemat.*, 5(1): 3–11 (en ruso).
- Konyaev, K.V. (1990). *Spectral Analysis of Physical Oceanographic Data*. A.A. Balkema, Rotterdam, 200 pp.
- Konyaev, K.V. y Sabinin, K.D. (1992). *Ondas en el Interior del Océano*. Cankt-Petersburg, Hydro-meteoizdat, 272 pp. (en ruso).
- Monzón, C.O. y González, M.E. (1997). Acerca de las escalas de las heterogeneidades espaciales de los campos de temperatura en la plataforma y talud continental en la zona costera occidental de México. *Ucrania, Meteorologya, Klimatologiya i Gidrologiya*, 33: 144–150 (en ruso).
- Seiwell, J. (1939). The effect of short-period variations of temperature and salinity on calculation in dynamics topography. *Pap. Phys. Ocean. Meteor.*, Woods Hole, 110 pp.
- Turner, J.S. (1973). *Buoyancy Effects in Fluids*. Cambridge Univ. Press.