



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

PATRONES DE CIRCULACION SUPERFICIAL Y CINEMATICA EN LA PARTE CENTRAL DEL GOLFO DE CALIFORNIA



TESIS

que para obtener el título de

OCEANOLOGO

presenta

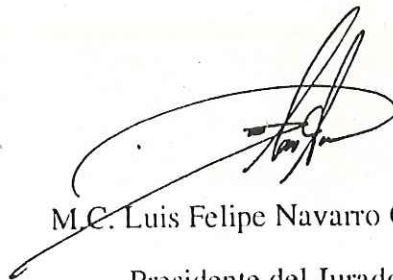
Lídice Alejandra Figueroa Lewis

**PATRONES DE CIRCULACION SUPERFICIAL Y CINEMATICA EN LA PARTE
CENTRAL DEL GOLFO DE CALIFORNIA**

TESIS QUE PRESENTA

Lídice Alejandra Figueroa Lewis

APROBADA POR:



M.C. Luis Felipe Navarro Olache
Presidente del Jurado


Dr. Reginaldo Durazo Arvizu
Sinodal Propietario


M.C. Rafael Hernández Walls
Sinodal Propietario

RESUMEN

Se utilizó el método de la razón de cambio del área de un triángulo formado por tríadas de radioflotadores para estimar la divergencia horizontal en la parte central del Golfo de California; así mismo se estimó la vorticidad relativa observando el cambio de la rotación de los lados de estos triángulos.

Se encontró que el orden de magnitud de estas propiedades es de 10^{-5} s^{-1} , similar al que han hallado otros autores en localidades donde existen corrientes sinópticas como la Corriente de Alaska y la Corriente del Golfo.

Dedicatoria

A la memoria de los que se fueron primero.

A Lourdes, David, Chapo, Lula y mi pequeño duende Ricardito, por todo el amor, la locura, la creación y las extraordinarias enseñanzas de libertad que me han dado.

A mis amigos, por la ternura, la risa, la música, los jalones de orejas y la confianza.

A Gaby Reyes, por enseñarme el valor incalculable de la fidelidad a uno mismo.

A mi madre, la Tierra, por la belleza y el misterio que hay en mi vida.

Agradecimientos

A mi director de tesis el M. en C. Luis Felipe Navarro, por haberme proporcionado su apoyo y todos los medios que estuvieron a su disposición para que yo terminará ésta tesis. Para él y Lucy, su esposa, mi más sincero agradecimiento.

A mis sinodales el M. en C. Rafael Hernández Walls y el Dr. Reginaldo Durazo Arvizu por sus valiosos comentarios, enseñanzas y por ser excelentes personas.

A todos los miembros del grupo de Oceanografía Física del Instituto de Investigaciones Oceanológicas, que siempre tuvieron el tiempo y la disposición para ayudarme en todos los problemas que se presentaron para realizar éste trabajo.

Al Instituto de Investigaciones Oceanológicas por apoyarme con una beca-tesis y con el equipo necesario.

Al Oc. Victor Godínez de C.I.C.E.S.E., por haberme facilitado algunos programas de computación para el cálculo de los resultados.

A mis amigos y compañeros de desvelos y andanzas, Ana Tovar Soto, Edgar Ruíz Loyo, Sonia Ponce y Juan Manuel López, por todo lo que me han dado.

A mi escuela, la Fac. de Ciencias Marinas y a los maestros que me educaron, por haberme dado una nueva visión del mundo.

Y por último, aunque no menos importante, a mi madre, la pintora Lourdes Lewis, por creer en mis sueños y ayudarme a materializarlos.

A todos Ustedes, Muchas Gracias.

INDICE

I Introducción.	
II Objetivos.	5
III Descripción del área de estudio.	6
3.1 Características físicas del Golfo	6
IV Materiales y Métodos.	10
V Resultados.	17
5.1 Casos de Duración Corta.	17
5.2 Casos de Duración Media.	26
5.3 Casos de Duración Larga.	28
5.4 Diagramas de Astillas del Viento y los Flotadores.	35
VI Discusiones.	
VII Conclusión.	40
VIII Bibliografía.	41

12 (a) Gráfica de la trayectoria de la tríada 1,2,7 ó caso 4. (b) Gráfica de los valores del cambio de área (línea continua), la divergencia horizontal (línea punteada) y la vorticidad relativa.	25
13 (a) Gráfica de la trayectoria de la tríada 2,3,5 ó caso 5. (b) Gráfica de los valores del cambio de área (línea continua), la divergencia horizontal (línea punteada) y la vorticidad relativa.	27
14 (a) Gráfica de la trayectoria de la tríada 4,5,9 ó caso 6. (b) Gráfica de los valores del cambio de área (línea continua), la divergencia horizontal (línea punteada) y la vorticidad relativa.	31
15 (a) Gráfica de la trayectoria de la tríada 3,4,6 ó caso 7. (b) Gráfica de los valores del cambio de área (línea continua), la divergencia horizontal (línea punteada) y la vorticidad relativa.	32
16 (a) Gráfica de la trayectoria de la tríada 3,6,9 ó caso 8. (b) Gráfica de los valores del cambio de área (línea continua), la divergencia horizontal (línea punteada) y la vorticidad relativa.	33
17 (a) Gráfica de la trayectoria de la tríada 3,4,9 ó caso 9. (b) Gráfica de los valores del cambio de área (línea continua), la divergencia horizontal (línea punteada) y la vorticidad relativa.	34

I Introducción.

El Golfo de California es un mar marginal de la costa nororiental de la República Mexicana, que ha sido objeto de estudios científicos diversos. La circulación de sus aguas es uno de los fenómenos más importantes que presenta y ha sido investigada con frecuencia.

La alta productividad del Golfo de California juega un papel importante en la economía de nuestro país, de allí que sea valioso el conocer el comportamiento de las corrientes superficiales en la zona por su relación estrecha con los procesos de dispersión de contaminantes, transporte de larvas de especies comerciales y distribución de nutrientes. Hammann *et al.* (1988), por ejemplo, han encontrado una relación importante entre los ciclos de vida de la sardina del Pacífico (*Sardinops sagax caeruleus*) y ciertos procesos físicos que se dan en la zona, como son surgencias costeras, chorros, giros y filamentos de agua fría.

Las expediciones científicas realizadas en el Golfo han logrado definir de una forma general la circulación para las estaciones de invierno y verano, y los períodos de transición, primavera y otoño (Navarro, 1989). Existen estudios como el de Rosas Cota (1976) que encuentra que la circulación geostrófica para los meses de invierno es predominantemente hacia el sureste, coincidiendo con vientos de dirección NW, que son paralelos a la costa este del Golfo. Emilsson y Alatorre (1980) sugieren, usando topografía dinámica, la existencia de una zona de convergencia en la parte central, entre Punta Concepción y la Bahía de Guaymas. Marinone y Ripa (1988) presentan la variación estacional de la circulación geostrófica a través de una sección de la Cuenca de Guaymas y concluyen que existe una tendencia a que la circulación geostrófica superficial sea anticiclónica en invierno y ciclónica en verano. Por medio del análisis de imágenes de satélite

en la banda IR, Badan-Dangón *et al.* (1985) muestran, en primavera y verano, la presencia de un giro superficial anticlónico, y la zona de convergencia sugerida por Emilsson y Alatorre (1980) en la parte central del Golfo.

Se han utilizado observaciones de tipo lagrangeano, (esto es, que siguen el movimiento de una parcela de agua a través del tiempo), para obtener información sobre la trayectoria y la velocidad de las corrientes a mesoescala. Es posible, a través del análisis de los movimientos diferenciales de grupos de flotadores, el calcular las llamadas "propiedades cinemáticas del flujo" como la velocidad, la divergencia y la vorticidad.

La divergencia puede ser usada como un diagnóstico de los movimientos verticales de las masas de agua y se define como:

$$D = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \quad \text{.....1}$$

La vorticidad, que indica la tendencia a rotar o formar vórtices de una parcela de agua, esta definida, al igual que la divergencia, como una combinación de los gradientes de velocidad:

$$\zeta = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \quad \text{.....2}$$

e indica la tendencia a rotar de una parcela de agua. El comportamiento y la magnitud de estos gradientes nos darán una idea de los procesos de mezcla que se dan en ella causados, por ejemplo, por el efecto de la topografía de fondo y el esfuerzo del viento sobre la superficie del agua.

Los estimadores que se usan para calcular las propiedades cinemáticas, se originaron a partir de conceptos simplificados (Richardson, 1926) y experimentación bajo condiciones

controladas en laboratorio y en lagos; los resultados y conclusiones de estas investigaciones son congruentes con las observaciones hechas en campo y presentadas por autores como Chew y Berberian, (1971) y Kirwan, (1975), entre otros.

Reed (1971) llevó a cabo un estudio de la corriente de Alaska, usando para ello radioflotadores y el conocido como "método de áreas". El autor encontró que para esa localidad el orden de magnitud de la divergencia oceánica era de 10^{-5} s^{-1} , con profundidades características cercanas a los 900 m y velocidades de la corriente cercanas a los 75 cm s^{-1} . Okubo y Ebbesmeyer (1976), desarrollaron métodos estadísticos para obtener valores medios de los gradientes de velocidad lagrangeanos, para ello utilizaron las posiciones de un número de elementos de deriva. Okubo et al. (1976), hicieron una serie de observaciones en los Grandes Lagos, las velocidades promedio se encontraron entre $1\text{-}6 \text{ cm s}^{-1}$, a una distancia entre 2 y 8 km de la costa; los autores hallaron que el orden de magnitud para la divergencia horizontal y la vorticidad fue de 10^{-5} s^{-1} en esas condiciones.

Molinari y Kirwan (1975) usaron boyas y los métodos de áreas y de regresión lineal para calcular las propiedades cinemáticas de flujo. Coincidieron con Reed (1971) respecto al orden de magnitud de la divergencia, aunque las profundidades en las que realizaron su trabajo se encontraban entre los 1500 y los 1800 m, con velocidades de la corriente entre los 60 y los 140 cm s^{-1} , a 80 km de la costa en el Mar Caribe.

Durazo y Alvarez (1988) utilizaron cuerpos de derivas y los métodos de áreas y de regresión lineal; reportaron que cerca de la costa en la Bahía Todos Santos, B.C., la divergencia es de un orden de magnitud entre 10^{-6} s^{-1} y 10^{-4} s^{-1} , para profundidades menores a los 30 m y velocidades de la corriente entre los 5 y los 20 cm s^{-1} .

En el Golfo de California no se han hecho, hasta el momento, estudios similares a éste. Es necesario, por lo tanto, conocer las características cinemáticas de esta región. Los resultados de este trabajo responden parcialmente a esta necesidad.

Los datos que se usaron en este trabajo corresponden a las trayectorias de ocho flotadores superficiales y fueron obtenidos durante noviembre de 1985 en la cuenca de Guaymas, en un crucero oceanográfico SOMAP (Satellite Ocean Mapping and Prediction), y fueron reportados parcialmente por Navarro (1989).

II Objetivos.

Obtener los patrones de circulación superficial en el centro del Golfo de California, a partir de elementos lagrangeanos (radioflotadores), así como las propiedades cinemáticas divergencia horizontal y vorticidad relativa.

Analizar, de forma cualitativa, las contribuciones longitudinal y transversal al eje del Golfo de las corrientes que hay en su interior y la relación de éstas con el sistema de forzamiento atmosférico y las manifestaciones de mesoescala como filamentos y giros de agua superficiales.

III Descripción del área de estudio.

El Golfo de California tiene por fronteras la Península de Baja California por el oeste, y los estados de Sonora y Sinaloa por el este (Fig. 1). Hacia el sur, el Golfo se comunica con el Océano Pacífico a través de una boca de aproximadamente 200 km de ancho. Puede ser dividido en tres regiones hidrográficas: la parte norte, donde el agua conocida como "agua del Golfo" es predominante; la región de las islas, donde la mezcla por mareas y las constricciones topográficas son importantes en la determinación de las características de la estructura vertical de la columna de agua; y las regiones central y sur, que se encuentran en comunicación directa con el Océano Pacífico y donde se presentan los mayores volúmenes de masas de agua intermedia y profunda del Pacífico, la subsuperficial subtropical así como la superficial ecuatorial (Torres, 1992).

La parte central del Golfo esta constituida por cuencas profundas y pendientes abruptas en las costas de Baja California Sur (fig. 2). Las profundidades varían entre 2000 y 3000 m y reciben los nombres hacia el sur de Cuenca de Guaymas, Cuenca del Carmen y El Farallón. Con un ancho de alrededor de 200 km estas cuencas están semi-cerradas en la frontera norte, debido a la presencia de las islas y se encuentran abiertas en el extremo sur mediante una boca que las comunica con el Océano Pacífico, a través de una cuenca denominada El Pescador.

3.1 Características físicas del Golfo

El forzamiento atmosférico del Golfo esta fuertemente influenciado por las masas terrestres áridas y montañosas de los alrededores. Los vientos cambian de dirección estacionalmente, soplando desde el SE en verano y desde el NW en invierno. Este mismo patrón estacional aparece en los transportes cercanos a la superficie, que se dan, en general, de forma

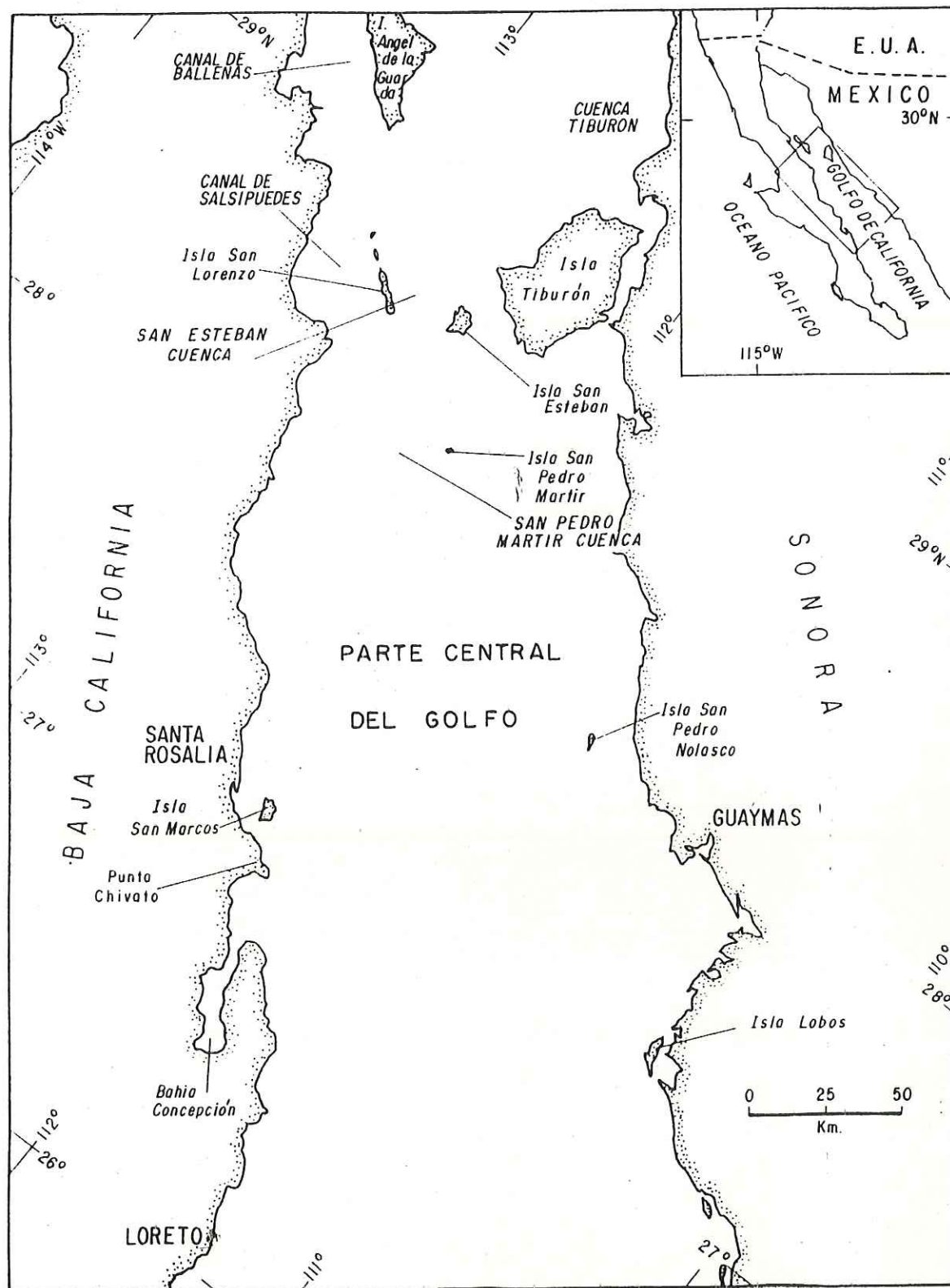


Fig.1 Localización del Golfo de California y el área de estudio

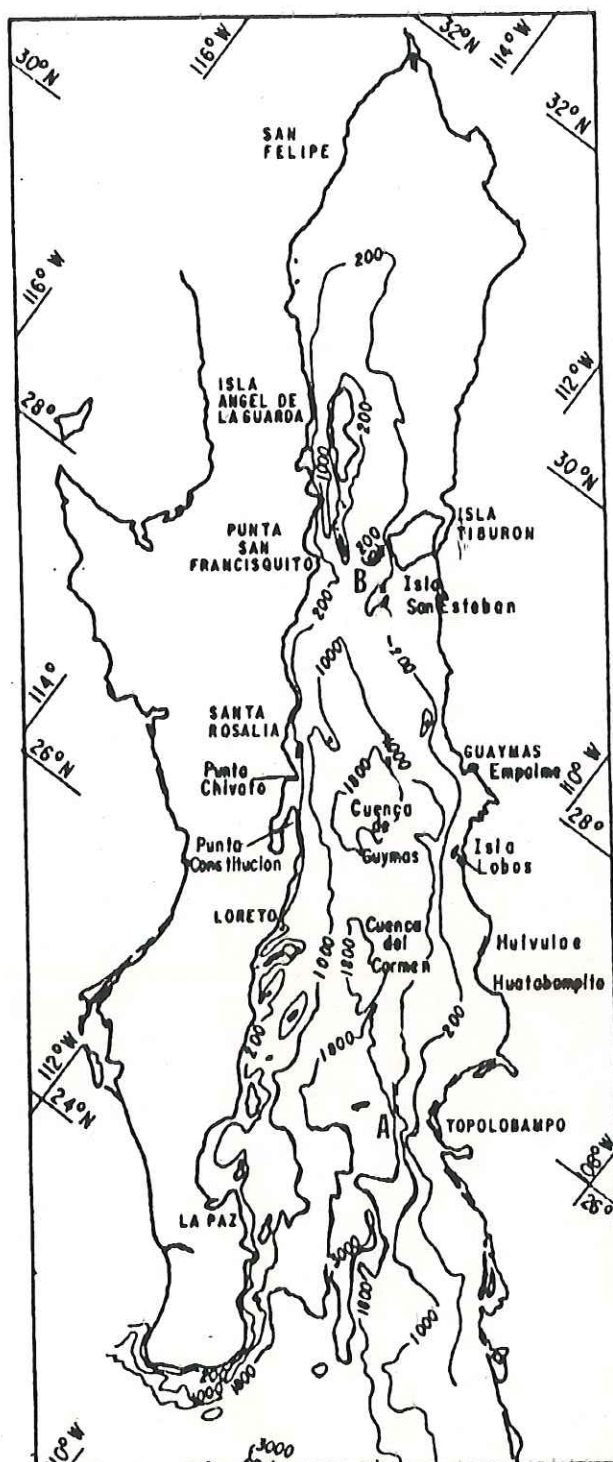


Fig.2 Localización de las principales cuencas de la parte central del Golfo de California

paralela al eje del Golfo, (Bray,1988; Marinone y Ripa,1988).

Según Bray (1988), la circulación termohalina consiste de un flujo hacia el Pacífico principalmente entre los 50 m y los 250 m, un influjo entre los 250 y los 500 m y una capa superficial en la que la dirección del transporte cambia con las variaciones estacionales en los vientos a gran escala. Esta hipótesis no ha sido modificada hasta la fecha.

En la cuenca de Guaymas se ha observado, mediante imágenes de satélite, la aparición y desaparición de estructuras de agua fría en forma de chorros costeros, giros y filamentos en escalas del orden de días a semanas (Badan-Dangón et al., 1985, Navarro 1989, Hammann, et al. 1990).

IV Materiales y Métodos.

Los métodos básicos para el estudio de las corrientes oceánicas son el método Euleriano y el método Lagrangeano. El primero observa las corrientes a partir de un punto fijo en el espacio a través del tiempo. Su representación gráfica utiliza un vector localizado en el punto, que representa la velocidad de la corriente para ese lugar en particular. El campo de corrientes queda determinado al tener varios puntos simultáneamente e interpolando en los puntos intermedios. Este método mide directamente el campo temporal instantáneo del movimiento de un grupo o parcela de agua pasando a través del sistema de medición.

El método Lagrangeano consiste en observar una partícula del fluido en movimiento. La representación gráfica indica el recorrido de una o una serie de partículas seguidos a través del tiempo. Este método mide el campo promedio de la velocidad a partir de dos puntos cuyas posiciones y tiempo de recorrido son conocidas. El movimiento de una partícula de fluido corresponde aproximadamente al que efectúa un objeto a la deriva flotando en el fluido (Alvarez-Sánchez, 1971). El método Lagrangeano utilizado en este trabajo, tiene ventajas y restricciones como el método Euleriano. Su utilización es más generalizada para la estimación de fenómenos como la dispersión y cálculos de la divergencia; esto se debe, principalmente, a que los cambios espaciales en una zona específica son más evidentes y gráficos.

4.1 Instrumentación.

Las observaciones de corrientes superficiales y propiedades cinemáticas fueron realizadas siguiendo el desplazamiento de 8 radioflotadores lanzados en el centro de la Cuenca de Guaymas.

Los datos de la magnitud y dirección de viento fueron obtenidos de instrumentación del B/O De Steiguer y en las estaciones terrestres Punta Colorada e Isla Lobos, Sonora y Punta Chivato, Baja California Sur, durante los meses de octubre y noviembre de 1985.

Los flotadores fueron provistos de un emisor de radio y su posición se determinó mediante triangulaciones de tres antenas direccionales manuales (radiogoniómetros) que desde estaciones terrestres que se encontraban localizadas en Guaymas e Isla Lobos, Son.y Punta Chivato, Baja California.

Los elementos lagrangeanos utilizados (fig. 3) consistieron de una cortina de arrastre de 3 m x 3 m, que se hallaba a una profundidad de 3 m. La estructura de arrastre estaba unida a un emisor de radio que transmitía una señal cercana a los 4 MHz. Esta señal era recibida por las antenas direccionales de las estaciones terrestres; el ángulo azimutal asignado corresponde al promedio hecho de 6 a 10 lecturas. El fabricante de los instrumentos (Telecommunications Enterprice Co.) reporta una precisión para cada lectura de ± 1 grado (Navarro, 1989).

Se llevo a cabo el análisis de error de las trayectorias usando una desviación estándar. La fig. 4 muestra el error promedio diario de la posición de los flotadores en km^2 . Al inicio es posible observar que los errores de localización de las boyas son más bien pequeños, esto es, de unos 30 km^2 ; sin embargo, a partir del día 15 aproximadamente, éste error de posición aumento considerablemente hasta llegar a ser de unos 340 km^2 , a la semana de haberse lanzado los flotadores y disminuye de allí en adelante hasta un valor de unos 140 km^2 . El error promedio diario (fig. 4) aumento debido a que la distancia entre las boyas y las antenas direccionales sufrió a su vez un incremento, lo que dió lugar a que el error en la localización fuese mayor. Además,

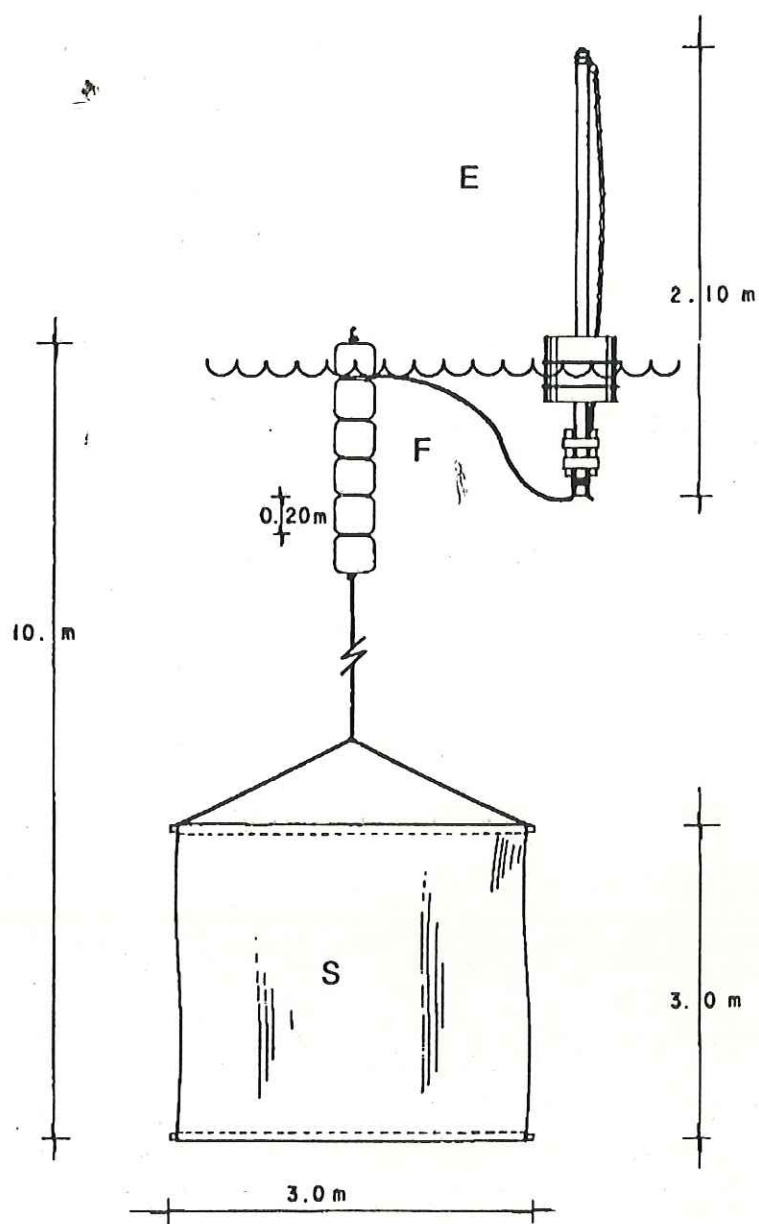


Fig.3 Esquematización de un flotador utilizado para medir corrientes Lagrangeanas. El emisor E transmite a una frecuencia cercana a los 4 MHz. La letra S señala la estructura de arrastre y F representa los flotadores (tomado de Navarro, 1989)

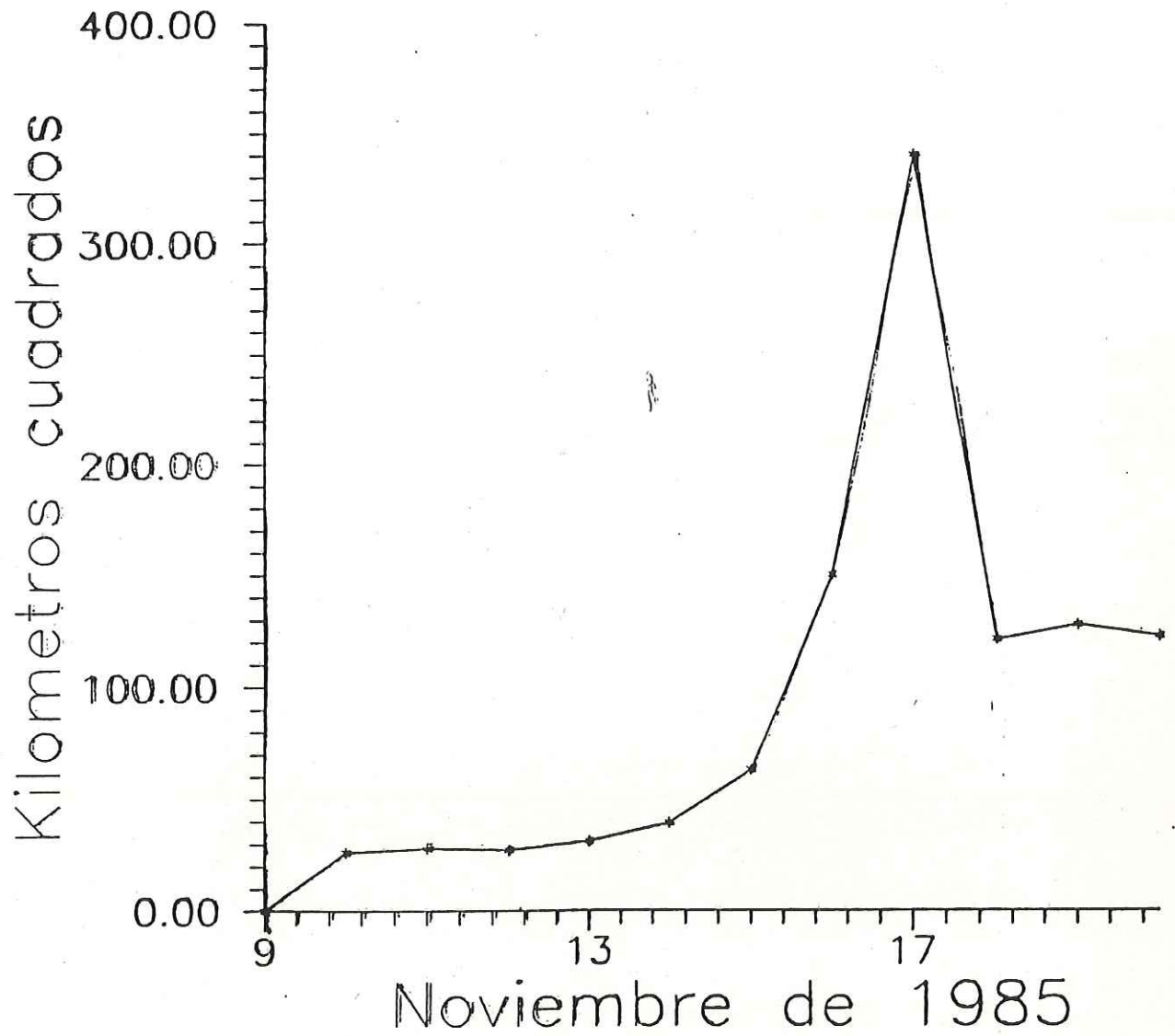


Fig.4 Error promedio diario de los 8 flotadores en km².

al inicio de las observaciones se contaba con 9 boyas, número que disminuyó a 3 en la última parte de las observaciones; una de estas 3 boyas tuvo errores de localización más grandes que las demás, lo que originó que el error promedio exhibiera valores altos.

4.2 Análisis de los datos.

Dentro de las propiedades cinemáticas que son analizadas en el trabajo se encuentran la divergencia horizontal y la vorticidad relativa. La divergencia horizontal es utilizada para diagnosticar los movimientos verticales de las masas de agua. En el caso de objetos en flotación se utiliza el método de áreas, Reed (1971), que consiste en calcular el área que encierra un grupo de flotadores y cómo cambia ésta en el tiempo. La divergencia horizontal puede ser estimada a partir de la razón de cambio temporal del área encerrada por los flotadores. Esto es:

$$div_h V = \frac{1}{A} \left(\frac{\partial A}{\partial t} \right) \quad \dots\dots\dots 3$$

donde A es el área, en éste caso, de un triángulo cuyos vértices son las posiciones de las boyas. La normalización $1/A$ puede realizarse mediante tres casos: a) el área promedio total de los flotadores de la serie; b) el área promediada cada dos tiempos y c) el área inicial. Cada caso indica estimaciones diferentes como la divergencia promedio, instantánea, y total. Aquí se utilizó la normalización hecha con el promedio del área cada dos tiempos.

Se escogió esta normalización por que se quería observar el cambio instantáneo del área. No se escogió la normalización con el área inicial por que ésta podía variar de tamaño bruscamente a través del tiempo y tampoco se uso al promedio total de las áreas como normalización porque se disponía de pocos datos.

La estimación de la vorticidad relativa se realiza convencionalmente calculando el cambio temporal en el ángulo de rotación del eje mayor de una elipse que contiene a los flotadores.

$$\zeta = \frac{1}{\Theta} \left(\frac{\partial \Theta}{\partial t} \right) \quad \text{.....4}$$

donde Θ es el ángulo de rotación del eje mayor, (Durazo, 1983; Molinari y Kirwan, 1975).

En este trabajo se estimó la vorticidad relativa observando el cambio de la rotación de los lados del triángulo formado por las boyas (fig. 5):

$$\zeta = \frac{1}{\bar{\Theta}} \left(\frac{\partial \bar{\Theta}}{\partial t} \right) \quad \text{.....5}$$

donde $\bar{\Theta}$ es el promedio de la suma de los ángulos de rotaciones de los lados del triángulo (fig. 5).

Se hizo una comparación cualitativa entre la magnitud y dirección del viento y las corrientes (fig. 6), usando diagramas de astillas. La finalidad de hacer ésta comparación es la de conocer la probable relación del campo de viento con la formación de corrientes y la influencia que pueden tener los procesos de mesoescala en la producción de éstas en la zona. Las contribuciones de las corrientes en el sentido perpendicular y paralelo al eje del Golfo se evalúan haciendo una descomposición vectorial en componentes u y v de los vectores de velocidad de las radioboyas (fig. 7).

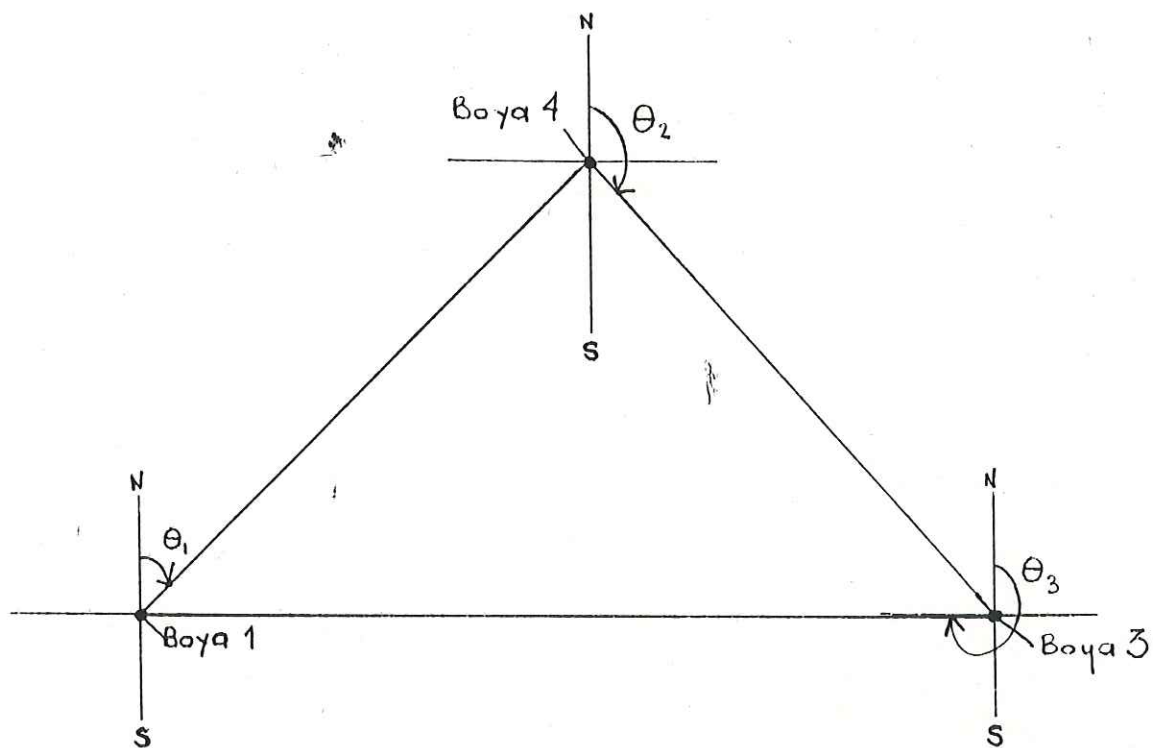


Fig.5 Se muestran los ángulos que se median y promediaban para cada paso de tiempo y que eran usados en el cálculo de la vorticidad relativa.

V Resultados.

Esta sección contiene los resultados descriptivos y cuantitativos del trabajo. Se describe el movimiento de las boyas por medio de un mapa de sus posiciones a intervalos de 12 hrs (fig. 8); las posiciones de las boyas han sido unidas para identificar las trayectorias con mayor facilidad.

Las boyas fueron agrupadas en tríadas y se hizo una separación de éstas en tres grupos distintos, dependiendo de la duración de las trayectorias de las boyas. Se obtuvieron 3 grupos: uno de duración corta, otro de duración media y por último, uno de duración larga. Estos casos, su duración e intervalo de tiempo entre cada posición, se describen en la tabla I.

Las figuras de la 9 a la 17, incisos (a), muestran las trayectorias y la evolución espacio temporal de los triángulos formados por las diversas tríadas de boyas, los incisos (b) muestran las series de tiempo del cambio de área de los triángulos (línea continua), la divergencia horizontal (línea punteada) y la vorticidad relativa (línea discontinua).

5.1 Casos de Duración Corta.

La figura 9b muestra los cambios temporales del área de los triángulos, la divergencia y la vorticidad del caso 1. Se observa que el área aumenta de 250 km^2 al inicio, hasta llegar a un máximo de unos 600 km^2 a las 24 hrs, para después disminuir a un valor de 580 km^2 al final. Los valores de la divergencia horizontal tienen un valor inicial de 0 s^{-1} , con un valor máximo de $1.4 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ a las 13 hrs, seguido de una disminución pronunciada hasta llegar a $-4 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$. Para la vorticidad hay un valor máximo de $2.5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ a las 5 hrs y a continuación una disminución progresiva de éste valor hasta llegar a $5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ a las 30 hrs.

Tabla I. Resumen de la información sobre los flotadores que conforman los distintos casos, su duración y los intervalos de tiempo utilizados.

No. Caso	Flotadores	Duración (Hrs.)	Δt (Hrs.)
1	1,2,3	10	6
2	5,6,7	18	2
3	6,7,9	14	2
4	1,2,7	18	2
5	2,3,5	90	6
6	4,5,9	132	6
7	3,4,6	180	6
8	3,6,9	186	6
9	3,4,9	174	6

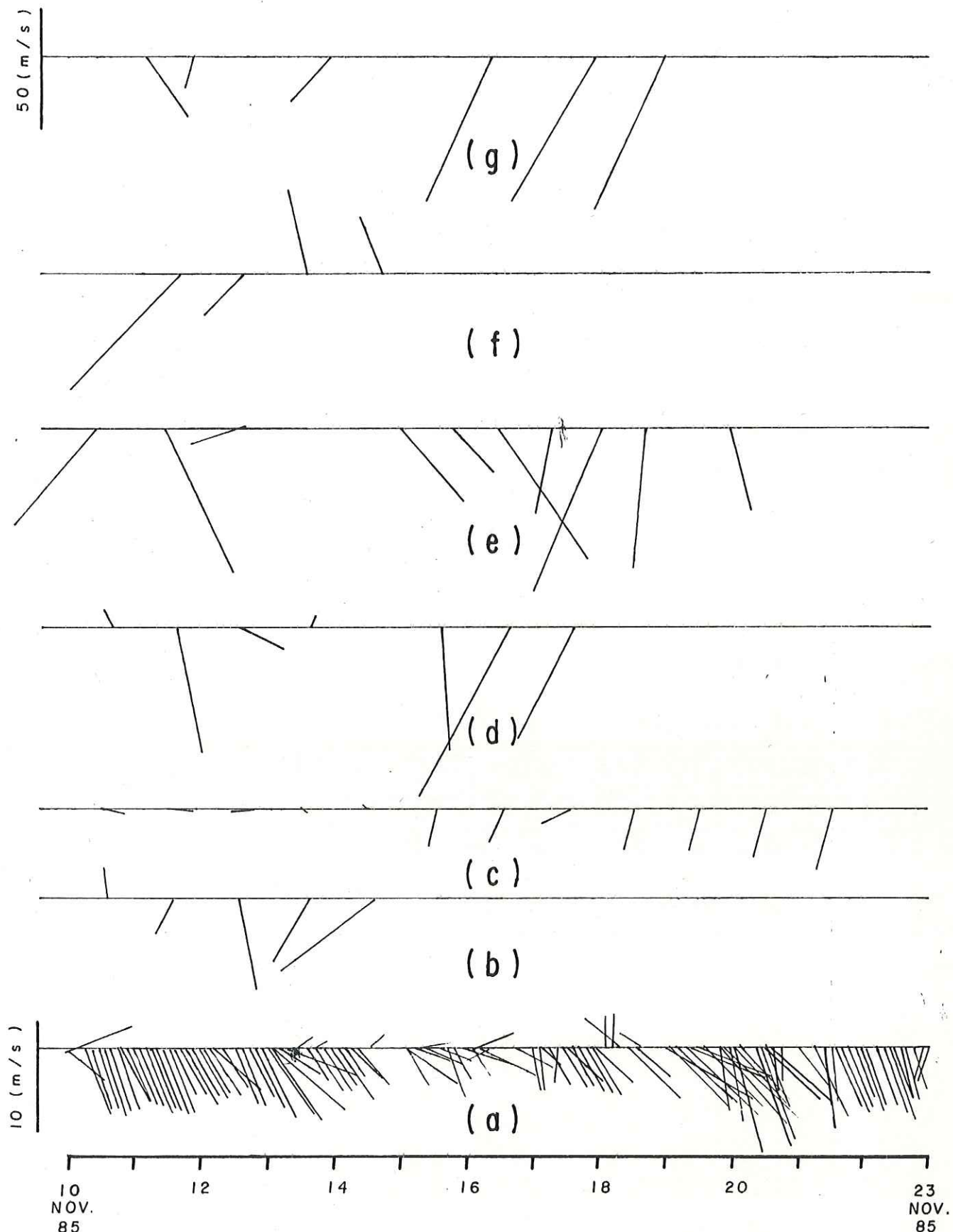


Fig.6 (a) Diagrama de astillas del viento del 10 al 23 de Noviembre de 1985, registrado a bordo del B/O De Steiguer; diagrama de astillas de la velocidad para el flotador 2 (b); el flotador 3 (c); el flotador 4 (d); el flotador 5 (e); e. flotador 6 (f) y el flotador 9 (g).

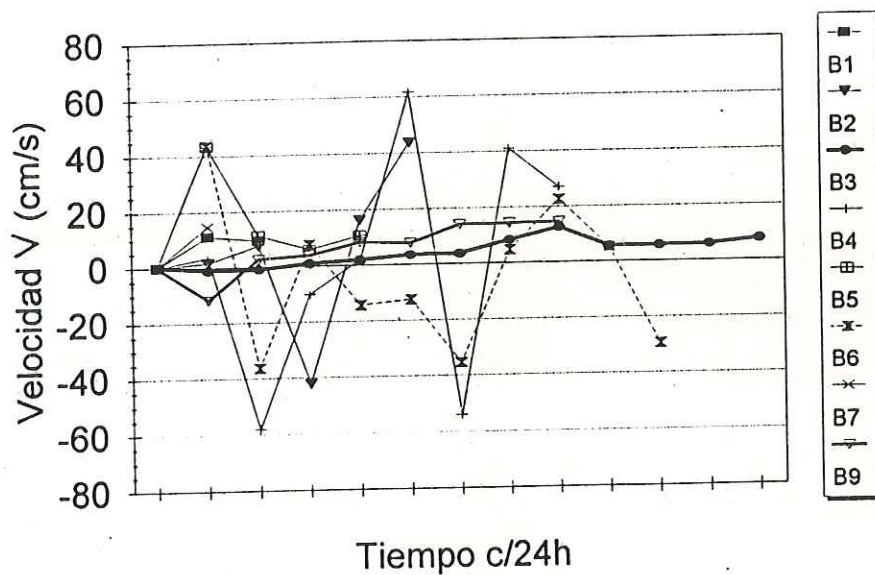
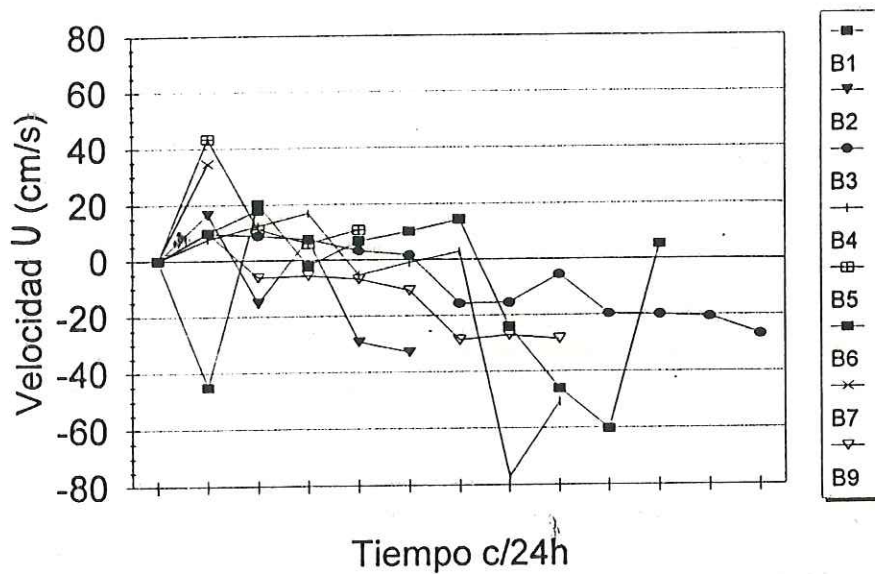


Fig.7 (a) Gráfica de los valores de la componente "u" y (b) gráfica de los valores de la componente "v" con respecto al tiempo, para todas las boyas.

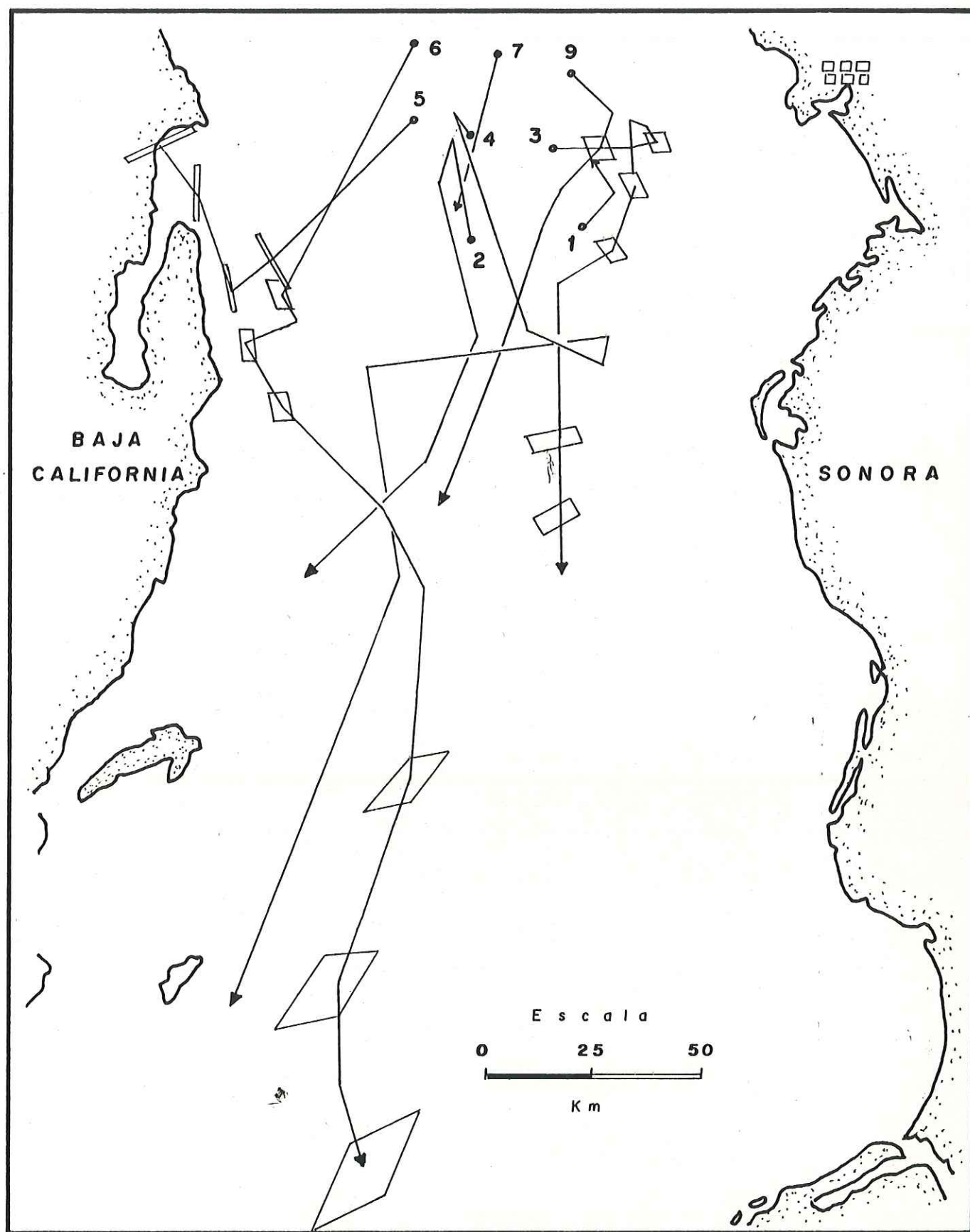
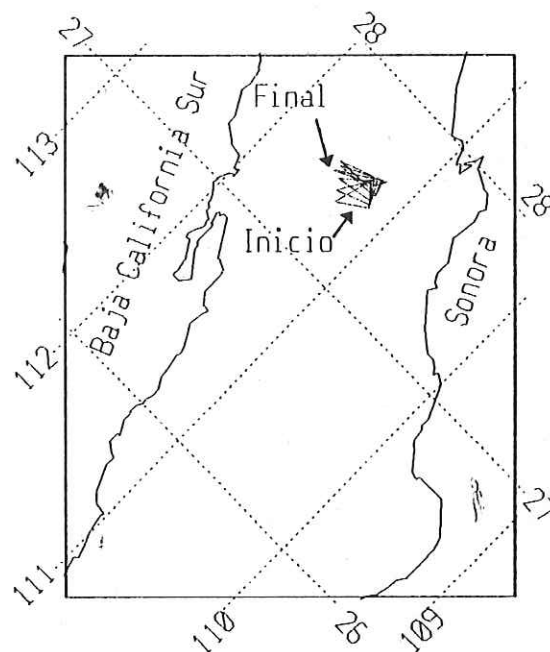
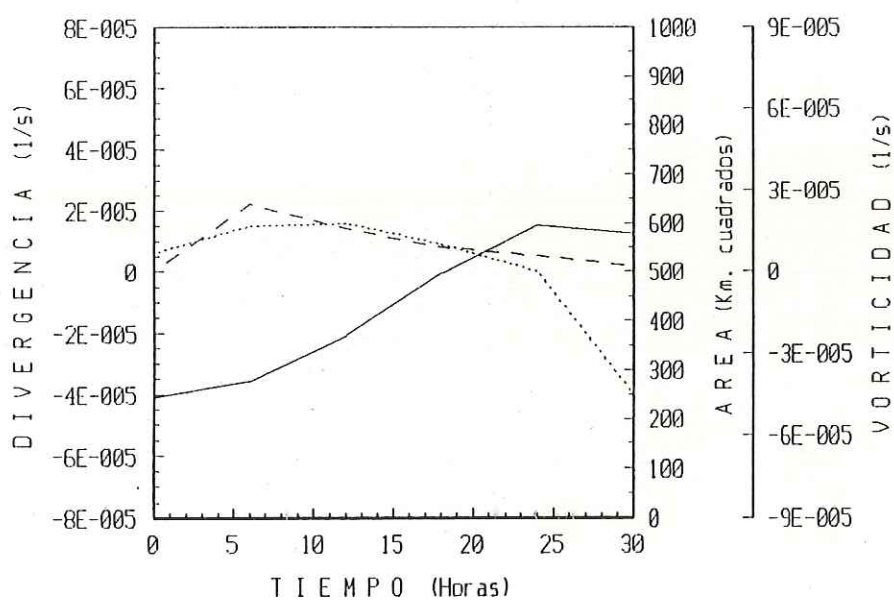


Fig.8 Trayectorias de las 8 boyas a través del tiempo, a intervalos de 12 hrs. Los números identifican a cada boya. El área del rombo muestra el tamaño del error de localización para esa posición.

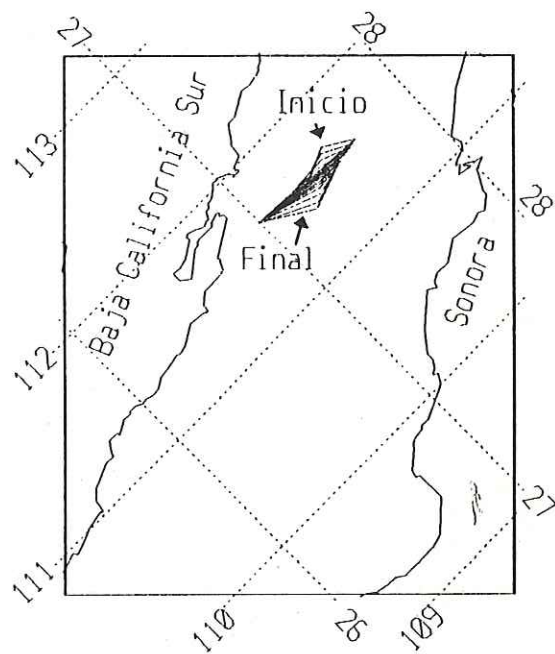


(a)

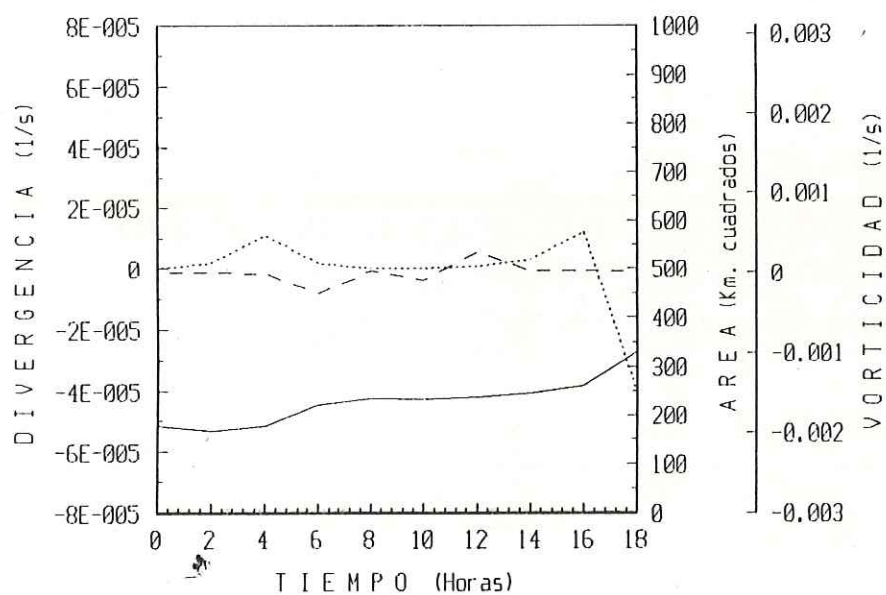


(b)

Fig.9 (a) Gráfica de la trayectoria de la tríada 1,2,3 ó caso 1. (b) Gráfica de los valores del cambio de área (línea continua), la divergencia horizontal (línea punteada) y la vorticidad relativa.

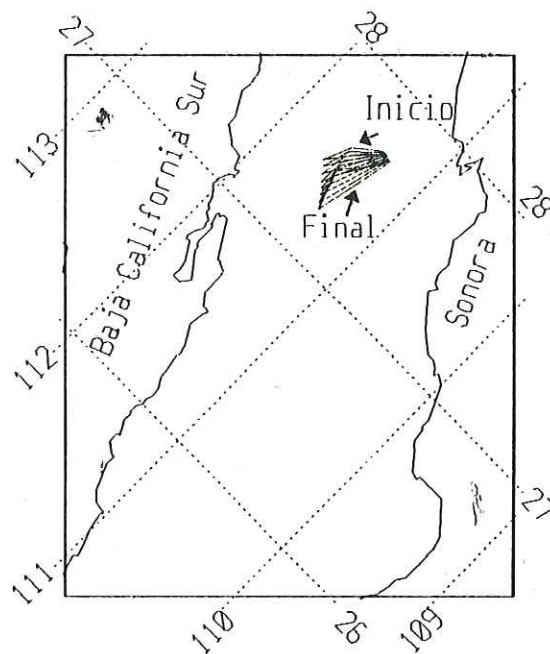


(a)

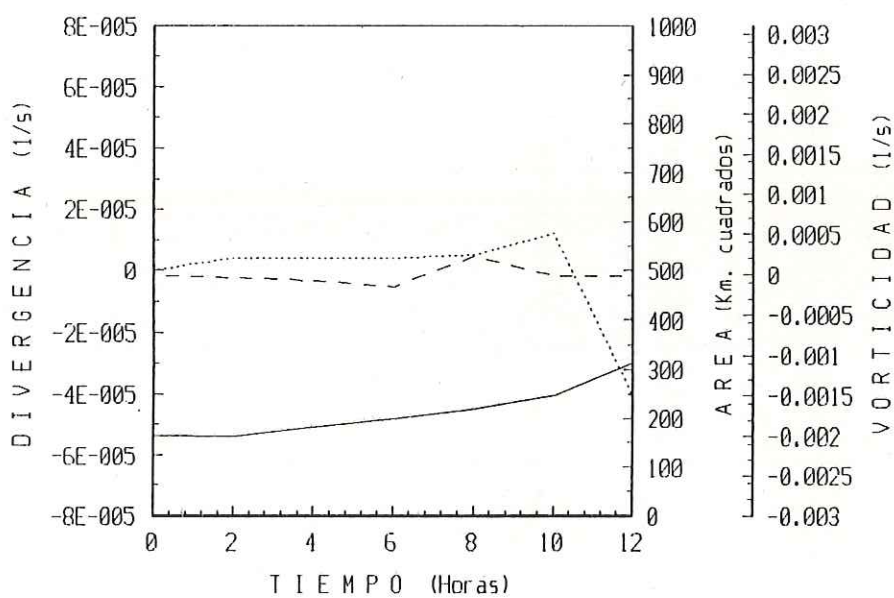


(b)

Fig.10 (a) Gráfica de la trayectoria de la tríada 5,6,7 ó caso 2. (b) Gráfica de los valores del cambio de área (línea continua), la divergencia horizontal (línea punteada) y la vorticidad relativa.

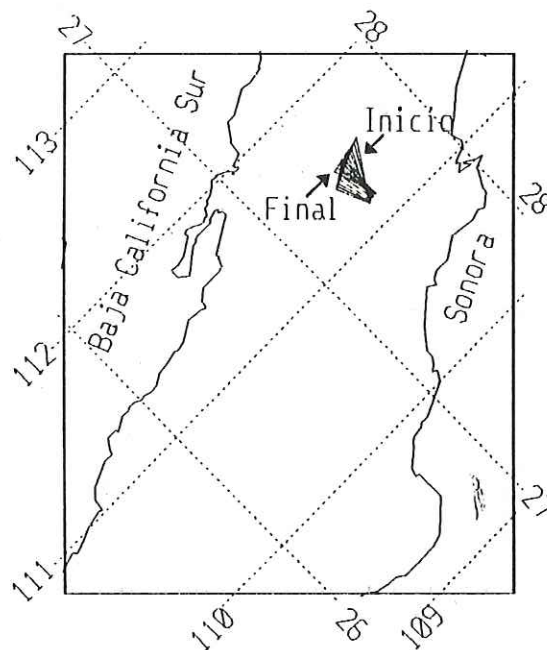


(a)

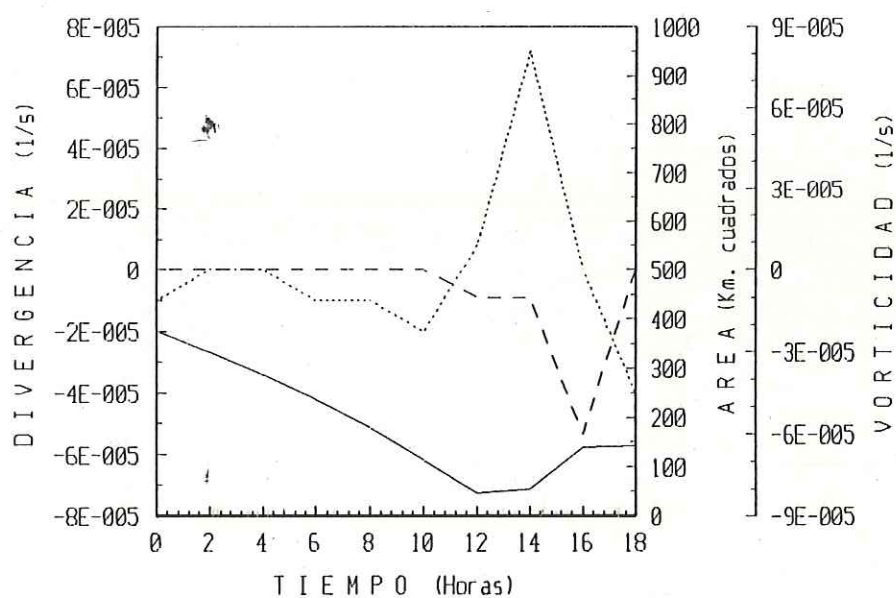


(b)

Fig.11 (a) Gráfica de la trayectoria de la tríada 6,7,9 ó caso 3. (b) Gráfica de los valores del cambio de área (línea continua), la divergencia horizontal (línea punteada) y la vorticidad relativa.



(a)



(b)

Fig.12 (a) Gráfica de la trayectoria de la tríada 1,2,7 ó caso 4. (b) Gráfica de los valores del cambio de área (línea continua), la divergencia horizontal (línea punteada) y la vorticidad relativa.

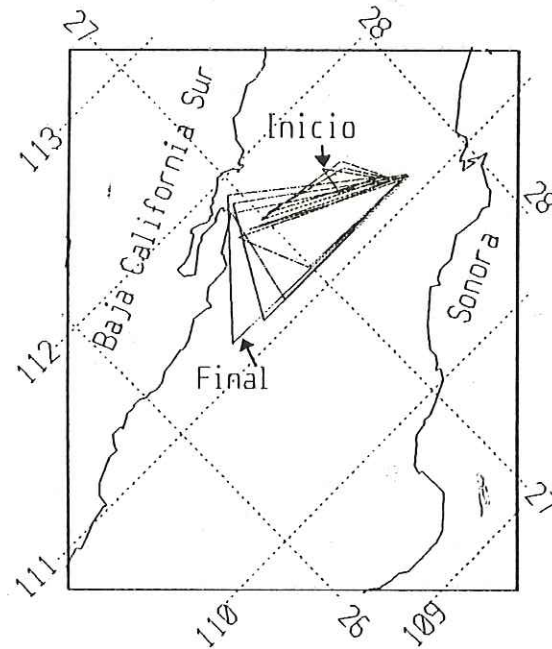
La figura 10b muestra las series de tiempo para el cambio de área de los triángulos, la divergencia y la vorticidad del caso 2. El área de los triángulos aumenta de manera continua de un valor cercano a los 200 km^2 a unos 350 km^2 al finalizar la serie. La divergencia exhibe un valor máximo de $1 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ alrededor de las 4 hrs, posteriormente baja a cero para llegar a las 16 hrs a $1 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, para disminuir de forma drástica después. La vorticidad, en cambio, no presenta cambios notables, y sus valores oscilan alrededor del cero.

El caso 3 (fig. 11b) tiene una duración de 12 hrs. Se observa que el área de los triángulos aumenta desde 180 km^2 a las 2 hrs hasta llegar a 315 km^2 a las 7 hrs, disminuyendo para llegar a un valor de 219 km^2 . La divergencia aumenta ligeramente desde 0 a $0.4 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ a las 2 hrs, y se mantiene casi constante hasta las 8 hrs, donde aumenta a un máximo de $1 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ a las 10 hrs, y disminuye a $-4 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ a las 12 hrs. La vorticidad oscila ligeramente de -1.5 a $2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ entre las 6 y las 7.5 hrs.

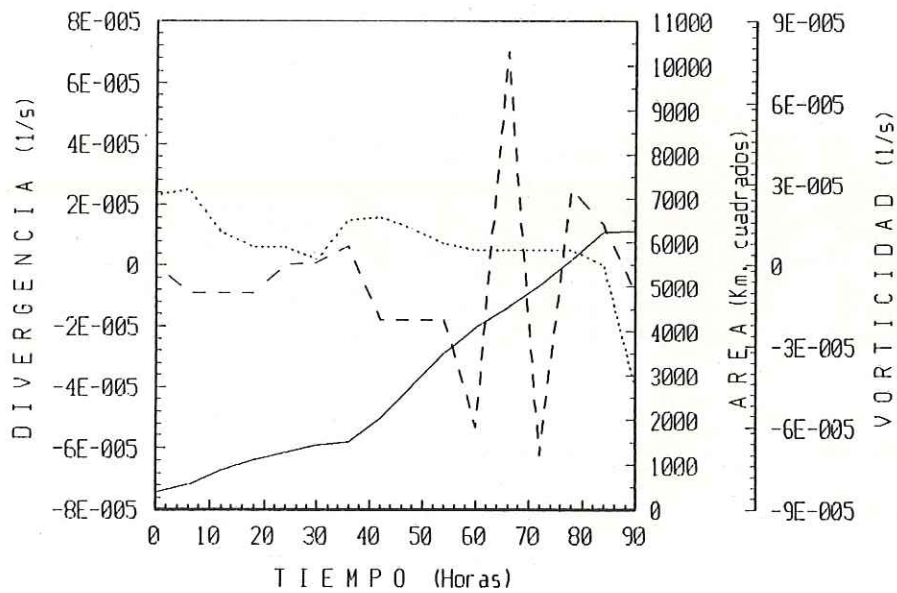
El área de los triángulos para el caso 4 (fig. 12b) disminuye paulatinamente, de 360 km^2 a las 0 hrs a 50 km^2 a las 12 hrs, aumentando ligeramente a partir de aquí hasta alcanzar los 140 km^2 . La divergencia oscila entre un valor máximo de $7.5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ a las 13 hrs y un mínimo de $-4 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ a las 18 hrs. En cuanto a la vorticidad, se tiene que sus valores inician en 0 y exhiben un mínimo de $-6 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ a las 16 hrs para aumentar a partir de ese momento y llegar a $-0.2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ a las 18 hrs.

5.2 Casos de Duración Media.

Este grupo está representado solamente por el caso 5 y tiene una duración de 90 hrs. El área de los triángulos (fig. 13b) se incrementa constantemente a través del tiempo, desde unos



(a)



(b)

Fig.13 (a) Gráfica de la trayectoria de la tríada 2,3,5 ó caso 5. (b) Gráfica de los valores del cambio de área (línea continua), la divergencia horizontal (línea punteada) y la vorticidad relativa.

500 km² iniciales hasta unos 6900 km². La divergencia presenta dos valores máximos, uno de $2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ a las 8 hrs, y otro de $1.5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ a las 40 hrs. Se observan también dos valores mínimos, uno de $0.2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ a las 30 hrs y otro de $-4 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ a las 90 hrs. La gráfica de la vorticidad muestra valores máximos y mínimos pronunciados. Los valores máximos fueron de $0.5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ a las 32 hrs, $8 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ a las 65 hrs y de $2.5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ a las 75 hrs, aproximadamente. Los valores mínimos se dieron cerca de las 60 hrs y a las 70 hrs, con valores de $-5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ y $-7 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, respectivamente.

5.3 Casos de Duración Larga.

La figura 14b muestra las series de tiempo para el área de los triángulos, la divergencia horizontal y la vorticidad relativa del caso 6. Su duración fue de 140 hrs. Las áreas de los triángulos exhiben cambios diversos; se observan 4 valores máximos que son de 1900, 4900, 5900 y 5800 km², a las 20, 56, 72 y 130 hrs, respectivamente. Los valores mínimos de la serie de tiempo fueron de 800, 1600, 4800 y 3600 km² a las 0, 32, 68 y 116 hrs.

La divergencia horizontal exhibe 3 valores máximos de $5.8 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, $2.6 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ y de $1.10 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ a las 0, 32 y 118 hrs respectivamente. Los valores mínimos fueron de 0 a las 24 hrs, otro 0 a las 56 hrs, y de $-4 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ a las 132 hrs. En cuanto a los valores de la vorticidad relativa se tienen 5 valores máximos de $4 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ a las 12 hrs, de $5 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ a las 48 hrs, de $1.8 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ a las 65 hrs, de $7 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ a las 100 hrs, y de $4 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ a las 128 hrs. Los mínimos observados fueron de 0 a las 3 y 29 hrs, de $1 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ a las 68 hrs, de 0 a las 72 y 120 hrs y de $2.2 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ a las 132 hrs.

El caso 7 (fig. 15b) tiene una duración de 180 hrs. En la serie de tiempo del área de los triángulos se aprecia que ésta sufre diversos cambios. En las primeras 40 hrs el área se mantuvo más o menos constante, con un valor entre los 200 y 500 km². A partir de las 40 hrs el área aumenta hasta llegar a un máximo de 2200 km² a las 92 hrs, se puede apreciar que entonces empieza a disminuir hasta los 1000 km² a las 120 hrs, y vuelve a crecer hasta llegar a los 1500 km² a las 128 hrs, momento a partir del cual disminuye nuevamente hasta los 1000 km² a las 140 hrs. A partir de ésta hora el área aumenta hasta alcanzar un valor máximo de 6800 km² a las 180 hrs.

La gráfica de la divergencia horizontal para el caso 7 tiene 4 valores máximos importantes: $5.6 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ a las 16 hrs; $6.4 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ a las 40 hrs; $2.4 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ a las 120 hrs, y de $3.6 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ a las 140 hrs y mínimos de $-1.1 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ a las 28 hrs; $-1.12 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ a las 104 hrs; $-1.12 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ a las 128 hrs y de $-4 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ a las 180 hrs.

La vorticidad relativa presenta dos valores máximos, uno de $1.4 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ a las 32 hrs y otro de $8 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ a las 148 hrs. Los 4 valores mínimos pronunciados son: $-2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ a las 12 hrs; $-1 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ a las 108 hrs; $-2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ a las 132 y 144 hrs.

La figura 16b muestra la evolución del área de los triángulos formados por las boyas del caso 8. Esta aumenta desde las 0 hrs hasta las 92 hrs, hasta alcanzar un máximo de 4200 km². A partir de ese momento disminuye hasta 1400 km² a las 152 hrs y aumenta de nuevo a 3400 km² a las 180 hrs.

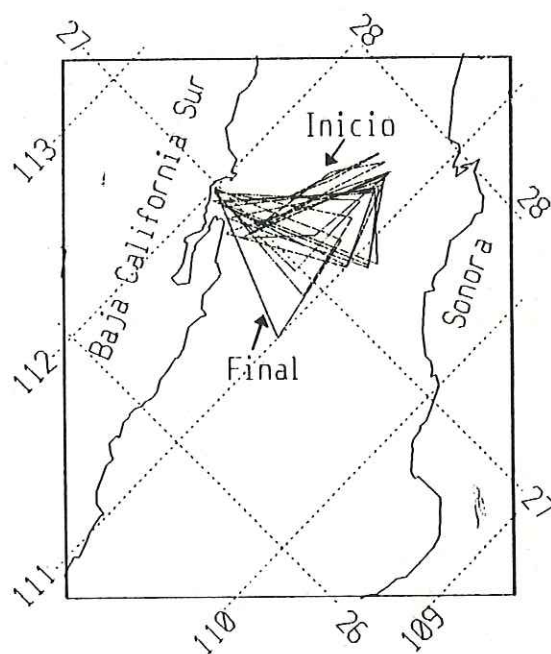
La divergencia horizontal (fig. 16b) aumenta de 0 a $1.4 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ a las 20 hrs. Desde ese momento tiende a disminuir a un valor de 0 a las 92 hrs. A partir del cual se mantiene constante hasta las 148 hrs. Posteriormente, crece hasta $0.8 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ a las 156 hrs y decae a $-4 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ al finalizar la serie de tiempo (180 hrs).

Los valores de la vorticidad relativa exhiben 4 máximos: el primero a las 24 hrs y es de $3 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$. Entre éste valor y el siguiente máximo se observa un intervalo en el que la vorticidad se mantiene mas o menos constante (igual a 0).

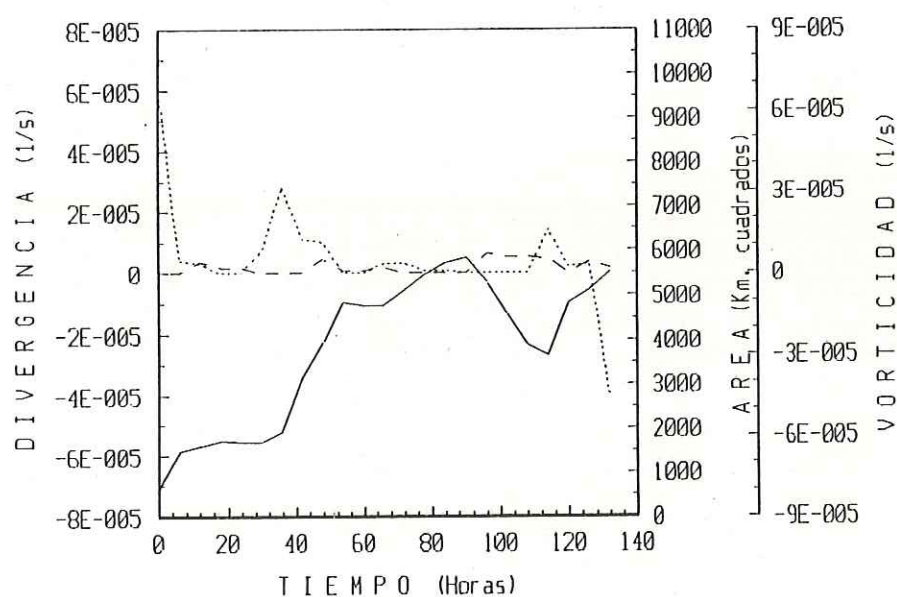
El caso 9 (fig. 17b) tiene una duración de 180 hrs. El área de los triángulos aumenta de 200 km^2 al inicio hasta 10000 km^2 a las 180 hrs. Los valores de la divergencia horizontal oscilan entre 0 y $1.4 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ en las primeras 60 hrs. En las 40 hrs siguientes su valor es de 0. A las 100 hrs, la divergencia aumenta hasta $1 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ y se mantiene así durante unas 8 hrs, posteriormente disminuye a 0 a las 116 hrs y vuelve a crecer hasta $1.2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ a las 120 hrs. A partir de allí disminuye nuevamente hasta $0.2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ a las 132 hrs, y vuelve a crecer hasta alcanzar un valor de $1.6 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ a las 144 hrs de iniciada la serie. Posteriormente disminuye constantemente hasta $-4 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ a las 172 hrs.

La vorticidad (fig. 17b) exhibe tres valores maximos: 5×10^{-5} , a las 45 hrs, $1.5 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ a las 120 hrs y $8 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ a las 165 hrs. Los 4 valores mínimos son: $-4 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ a las 35 hrs; $-8 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ a las 115 hrs; $-6 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ a las 140 hrs y $-5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ a las 155 hrs.

En general los gradientes de velocidad calculados son del orden de 10^{-5} s^{-1} para la divergencia y la vorticidad y presentan en casi todos los casos, cambios de sentido.

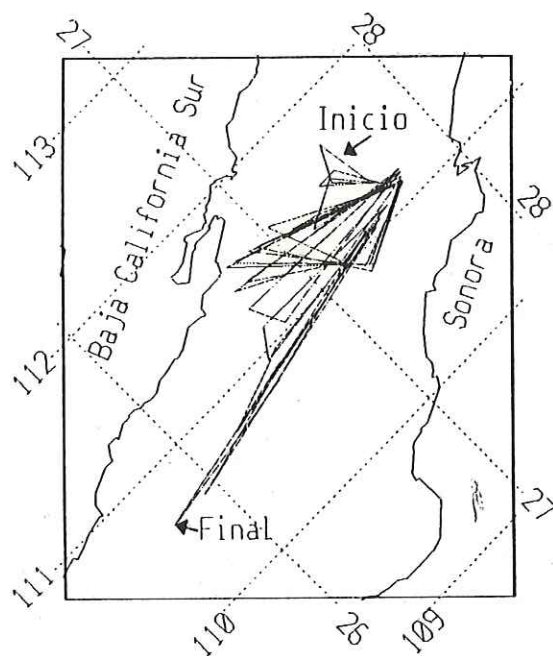


(a)

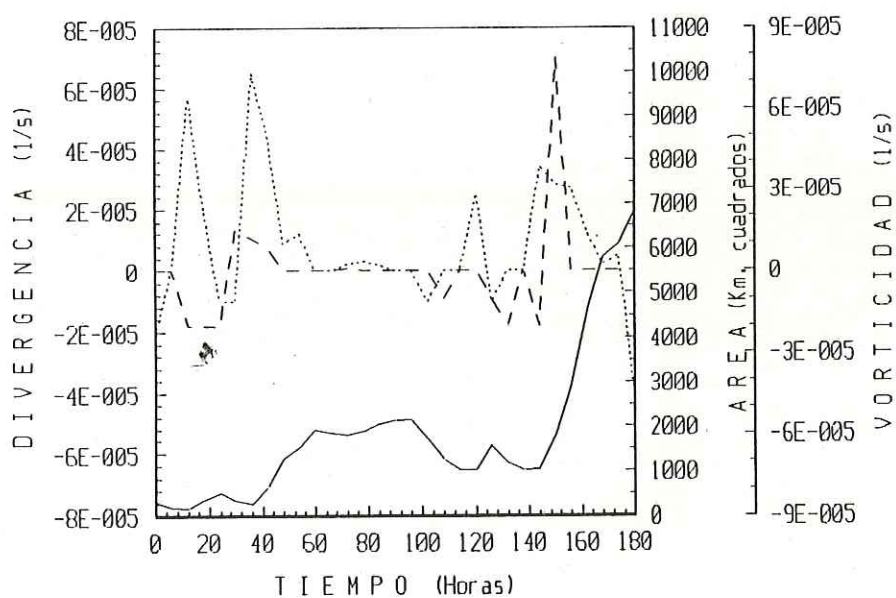


(b)

Fig.14 (a) Gráfica de la trayectoria de la tríada 4,5,9 ó caso 6. (b) Gráfica de los valores del cambio de área (línea continua), la divergencia horizontal (línea punteada) y la vorticidad relativa.

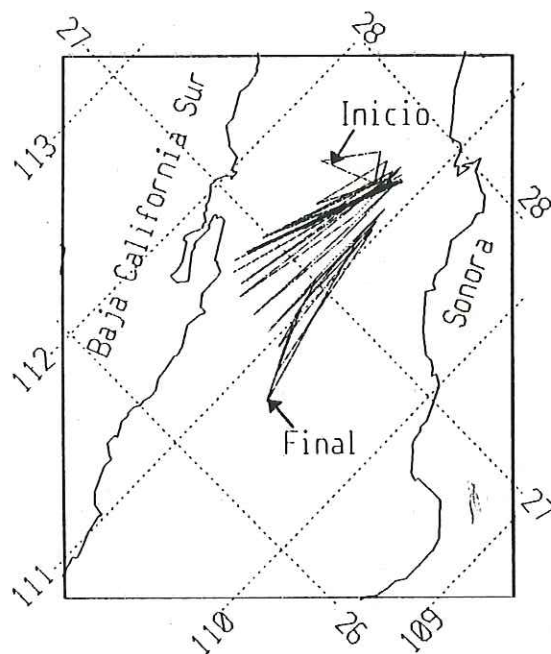


(a)

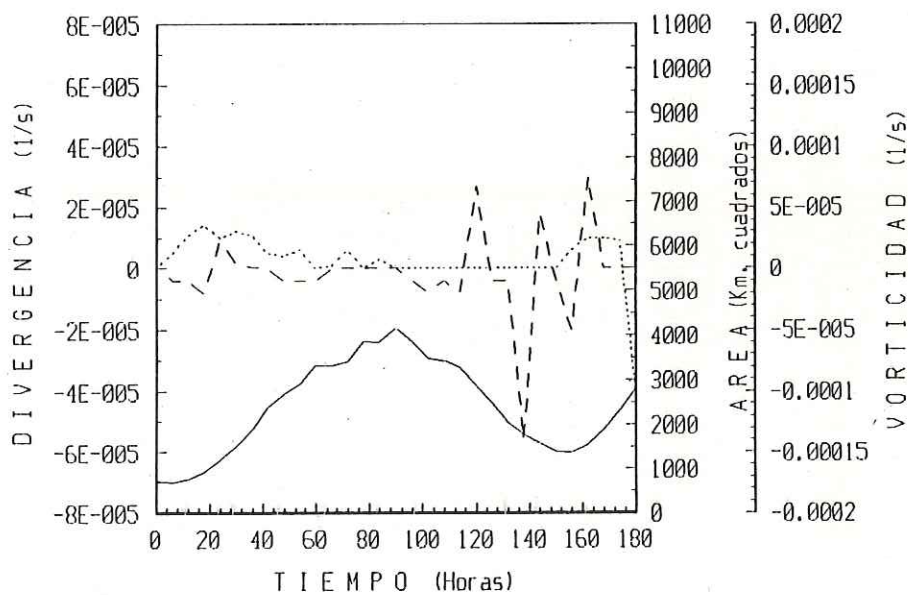


(b)

Fig.15 (a) Gráfica de la trayectoria de la tríada 3,4,6 ó caso 7. (b) Gráfica de los valores del cambio de área (línea continua), la divergencia horizontal (línea punteada) y la vorticidad relativa.

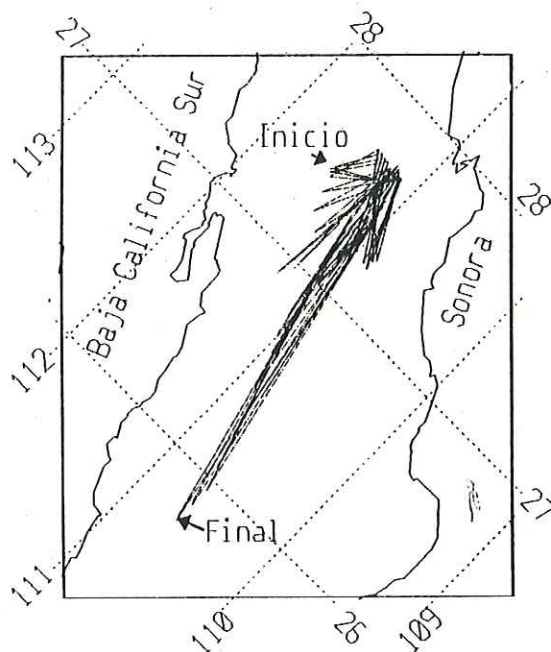


(a)

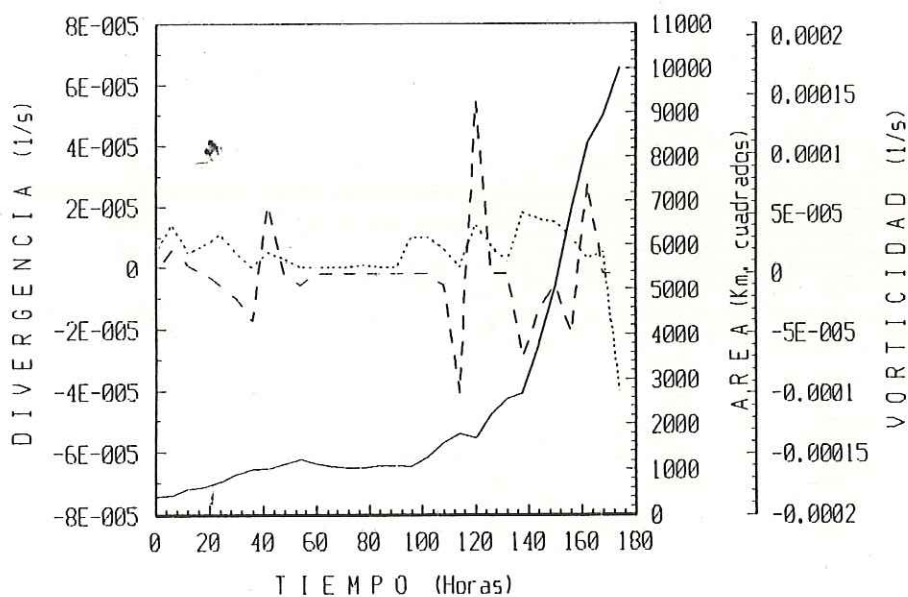


(b)

Fig.16 (a) Gráfica de la trayectoria de la tríada 3,6,9 ó caso 8. (b) Gráfica de los valores del cambio de área (línea continua), la divergencia horizontal (línea punteada) y la vorticidad relativa.



(a)



(b)

Fig.17 (a) Gráfica de la trayectoria de la tríada 3,4,9 ó caso 9. (b) Gráfica de los valores del cambio de área (línea continua), la divergencia horizontal (línea punteada) y la vorticidad relativa.

5.4 Diagramas de Astillas del Viento y los Flotadores.

Las condiciones del viento entre los días 9 y 13 de Noviembre fueron entre ligeros y de calma. Para los días 14 y 15 del mes se presentaron vientos intensos con velocidades de 25 m s^{-1} con dirección NW predominante (fig. 6a). Esta orientación es paralela al eje del Golfo.

La figura presenta los diagramas de astillas para la velocidad del viento (en m s^{-1}) y las boyas 2,3,4,5,6 y 9 (en cm s^{-1}). Las boyas responden a las corrientes generadas por el esfuerzo del viento, sobre todo en la última parte de las observaciones (fig. 8). Existen casos en que esta orientación no es muy clara como cuando el viento no es tan intenso (al principio de las observaciones, por ejemplo) y cuando los flotadores se movían en donde se observaron estructuras de mesoescala (boyas 1,3,4 en la fig. 8).

Las trayectorias de las boyas 3,4,6 y 9 tienen una duración que va de los 9 a los 12 días. Se puede ver en la fig. 8, cómo las boyas 3 y 9 se retrasan en comparación a las boyas 4 y 6; éstas últimas se orientan de forma paralela al Golfo y viajan cerca de la costa de la Península de Baja California, sus velocidades promedio son mayores que las velocidades de las boyas 3 y 9.

VI Discusiones.

En este trabajo se llevo a cabo una estimación de la divergencia horizontal y la vorticidad relativa para la parte central del Golfo de California, que se caracteriza por tener un complejo relieve costero y batimétrico, unido a un patrón de vientos y mareas que puede producir efectos dinámicos suficientes para la generación de estructuras filamentosas similares a las observadas en los bordes de la Corriente de California.

El orden de magnitud encontrado para ambas propiedades cinemáticas fue, en la mayoría de los casos, de 10^{-5} s^{-1} , que coincide con lo reportado por Molinari y Kirwan (1975) para la Corriente de Yucatán, con una profundidad similar a la que hay en la Cuenca de Guaymas y con velocidades de la corriente de 60 a 140 cm s^{-1} . El método que ellos usaron es en esencia el mismo al utilizado aquí, aunque como se ha dicho con anterioridad, fue necesario llevar a cabo algunas variantes para el cálculo de la vorticidad relativa, debido al número reducido de radioflotadores usados.

Se han reportado otros valores similares a los hallados en este trabajo por Reed (1971), en la Corriente de Alaska, con profundidades de 900 m y con velocidades de la corriente de 75 cm s^{-1} . El autor usó el método de áreas y obtuvo valores de un orden de magnitud de 10^{-5} s^{-1} .

Para este estudio, los valores de la vorticidad relativa, aunque exhiben cambios de signo, tienen en casi todos los casos, una tendencia a ser negativos. Esto significa, en la práctica, que los flotadores tienden a girar ciclónicamente, (ver las figuras de la 9 a la 17, incisos (a)).

Paduan y Niiler (1990) llevaron a cabo observaciones con un número similar de boyas al de éste trabajo, en filamentos transicionales en la costa norte de California. Encontraron que el

método de áreas para estimar la divergencia horizontal es poco recomendable cuando se tiene un número pequeño de flotadores como el usado aquí, ya que al hacer el análisis cinemático del grupo de flotadores encontraron que, aunque había una convergencia grande, la vorticidad relativa permanecía constante para el mismo período y por lo tanto no había un balance de vorticidad.

Por otra parte, se han de recordar las circunstancias especiales bajo las cuales se utilizaron los flotadores. Se estudiaron ciertas estructuras de mesoescala presentes en el Golfo de California, que habían sido detectadas por medio de imágenes de satélite. Las radioboyas fueron colocadas en una sección de un filamento de agua fría y se esperaba que se movieran hacia el norte así como hacia el sur del Golfo, (Navarro-Olache, 1989). Sin embargo, y a pesar de lo esperado, los flotadores 3, 4, 6 y 9 (fig. 8) viajaron hacia la boca del Golfo, con una tendencia a hacerlo cerca de la costa de Baja California, con velocidades de alrededor de 20 cm s^{-1} (flotadores 3, 6 y 9) y 85 cm s^{-1} (flotador 4).

El patrón general de corrientes superficiales descrito por las trayectorias de los radioflotadores mostró un corte horizontal de velocidad de mayor magnitud cerca de las costas de Baja California (figs. 8, 15a, 16a y 17a).

Se observa cómo las boyas que fueron colocadas cerca de las costas de Sinaloa y Sonora se retrazan con respecto a las boyas que están más próximas a la Península de Baja California, al parecer siguiendo la configuración de un frente entre las cuencas del Carmen y Guaymas (Navarro-Olache, 1989). Esto concuerda con el patrón de flujo en el interior del Golfo de California que ha sido inferido por investigadores como Bray (1988) para esta época del año, con una entrada de agua paralela a las costas de Sinaloa y Sonora y una salida por la parte de la Península de Baja California.

La existencia de un corte de velocidades esta apoyada por datos hidrográficos reportados por Navarro (1989). El autor reporta resultados de salinidad y temperatura obtenidos de dos cortes transversales al Golfo. Encontró que había aguas cálidas bien mezcladas en la cercanía de la costa de Baja California y una disminución de temperatura hacia fuera de la costa que iba de 24°C a 25°C . La salinidad fue mayor y la densidad menor en las aguas cálidas cercanas a Baja California en comparación con el agua que se hallaba hacia el centro de la cuenca. El agua cálida pertenece a la masa de agua del Golfo y viaja hacia la boca del Golfo, mientras que el agua más fría esta siendo transportado hacia el interior del mismo.

Tomando en cuenta el comportamiento de las trayectorias de las boyas (fig.8) y el diagrama de astillas del viento (fig. 6a), se puede decir que al inicio de las observaciones, el desplazamiento de las boyas respondió al flujo del agua que estaba bajo la influencia de procesos de mesoescala presentes en la zona en ese momento. Las contribuciones perpendiculares al eje del Golfo de las corrientes, tuvieron un efecto importante en el movimiento de las boyas, aún cuando esto no sea evidente en la gráfica de los valores para la componente v de la velocidad (fig. 7b). Posteriormente, el movimiento de las boyas se vió afectado por las corrientes provocadas por el esfuerzo de los vientos intensos que soplaban desde el NW y sus trayectorias así lo demuestran (fig. 8). Las contribuciones paralelas al eje del Golfo de las corrientes afectaron más al desplazamiento de los flotadores, que las contribuciones perpendiculares.

Es necesario considerar que los errores de localización aumentan para las posiciones de las boyas más alejadas. Esto se puede observar en la figura 4, en la que se tiene una gráfica del error promedio de todos los flotadores lanzados, a través del tiempo. Vemos que para el día 9 de

Noviembre el error es de unos 30 km^2 , este valor se mantiene más o menos constante hasta el día 13 del mismo mes, en el cuál empieza a incrementarse hasta llegar a un máximo de 340 km^2 , para disminuir hasta 140 km^2 .

Los errores de localización tienen una componente aleatoria debida a la interferencia de la señal emitida por la radioboya con señales de telegráfo, algunos radios y otros aparatos.

Ya que los cálculos de la divergencia horizontal y la vorticidad relativa se basan fundamentalmente en los triángulos hechos con las posiciones de las boyas, cualquier error en la medición de estas posiciones tendrá una repercusión directa en los valores obtenidos para estas propiedades cinemáticas. Por lo tanto, los valores de la divergencia y la vorticidad que se encuentran al final de las series de tiempo, tienen involucrado un error mayor que los valores iniciales.

VII Conclusión.

Se encontró que la divergencia horizontal tiene un orden de magnitud de 10^{-5} s^{-1} para la parte central del Golfo de California. En el caso de la vorticidad relativa se halló que el orden de magnitud de esta propiedad cinemática se encuentra entre 10^{-5} s^{-1} y 10^{-6} s^{-1} , siendo éste último orden el menos frecuente de los dos. Los valores del orden de 10^{-6} s^{-1} son más comunes en áreas con poca influencia de la zona costera o la batimetría, por lo que los observamos al final de las observaciones y lejos de la zona de frentes y filamentos.

El principal rasgo observado es el corte de velocidades. En el centro y Este de la parte central del Golfo de California, el flujo posee valores pequeños, mientras que cerca de la costa de la Península de Baja California, se observan flujos intensos y hacia fuera del Golfo, que coinciden con la dirección del viento para esta estación del año.

A pesar de los errores involucrados en el método y el gran tamaño de las áreas de los triángulos formados por los flotadores, los ordenes de magnitud se hallan en concordancia con lo que se esperaba para una zona como ésta.

VIII Bibliografía.

- Alvarez-Sánchez, L.G., 1971. Medición de corrientes superficiales en la bahía de Todos Santos, B.C.. Tesis de Licenciatura. Escuela Superior de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B.C., 54 pp.
- Alvarez-Sánchez, L.G., 1975. Currents and water masses at the entrance to the Gulf of California, spring 1970. Tesis de maestría en ciencias. Universidad de Oregon, 75 pp.
- Badan-Dangon, A., C.J. Koblinsky, and T. Baumgartner, 1985. Spring and summer in the Gulf of California: observations of surface thermal patterns. *Oceanologica Acta*, v.8: 13-22.
- Bray, N.A., 1988. Termohaline circulation in the Gulf of California. *J. Geophys. Res.* 93, 4493.
- Chew, F y G.A. Berberian, 1971. A Determination of Horizontal Divergence in the Gulf Stream off Cape Lookout. *J. Phys. Oceano.* V.1:39-44.
- Durazo-Arvizu, R., 1983. Circulación superficial y cinemática de la región sur de la Bahía de Todos Santos, B.C. Tesis de licenciatura. Escuela Superior de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B.C., 68 pp.
- Durazu-Arvizu, R. y Alvarez-Sánchez, G., 1988. Cinemática de la región de la Bahía de Todos Santos, B.C. *Ciencias Marinas*, 14(1): 95-114.
- Emilsson, I. y M.A. Alatorre, 1980. Investigaciones recientes sobre la circulación en la parte exterior del Golfo de California: Contribución No. 210 del Centro de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 35 pp.
- Hammann, M.G., T. Baumgartner y A. Badan-Dangon, 1988. Coupling of the Pacific Sardine (*Sardinops sagax caeruleus*) Life Cycle with the Gulf of California Pelagic Environment. *CalCOFI Rep.*, Vol. XXIX:102-109.
- Ichiye, T., Mungall, C., Inoue, M. y Horne, D., 1978. Gulf of Mexico Dispersion Calculations. Technical Report, Reference 78-10-T. Texas A & M University.
- Kirwan Jr., A.D., 1975. Oceanic Velocity Gradients. *J. Phys. Oceano.* V.5:729-735.
- Marinone, S.G., 1988. Una nota sobre la variabilidad no estacional de la región central del Golfo de California. *Ciencias Marinas* 14(4):117-134.
- Marinone, S.G., P.Ripa, 1988. Geostrophic flow in the Guaymas Basin, Central Gulf of California. *Continental Shelf Research*, 8:159-166.

- Molinari, R. y A.D. Kirwan Jr., 1975. Calculations of differential kinematics proprieties from lagrangian observations in the western Caribbean Sea. *J. Phys. Ocean.*, 5(3):483-491.
- Navarro-Olache, L.F., 1989. Mesoestructuras termohalinas en la parte central del Golfo de California. Tesis de maestría en ciencias. C.I.C.E.S.E., Ensenada, B.C., 79 pp.
- Okubo, A. y C.C. Ebbesmeyer, 1976. Determination of vorticity, divergence, and deformation rates from analysis of drogue observations. *Deep Sea Res.*, 23:349-352.
- Okubo, A., C. Ebbesmeyer, J.M. Helseth y A.S. Robins, 1976. Reanalysis of the Great Lakes drogue studies data. Final Report. Technical Report, Reference 76-2. Marine Science Research Center, State Univ. of New York.
- Paduan, J.D. y P.P. Niiler, 1990. A Lagrangian Description of Motion in Northern California Coastal Transition Filaments. *J. Geophys. Res.*, Vol. 95, No. C10:18,095-18,109.
- Reed, R.K., 1971. An observation of divergence in the Alaskan Stream. *J. Phys. Oceanogr.*, 1, 282-283.
- Richardson, L.F., 1926. Atmospheric Diffusion Shown on a Distance-Neighbor Graph. *Proc. Roy. Soc. London*, A110, 709-727.
- Rosas-Cota, J.A., 1976. Corrientes geostróficas en el Golfo de California en la superficie y a 200 m. Tesis de licenciatura, Escuela Superior de Ciencias Marinas, U.A.B.C., Ensenada, B.C., 80 pp.
- Torres-Orozco, E., 1993. Análisis volumétrico de las masas de agua del Golfo de California. Tesis de maestría en ciencias, C.I.C.E.S.E., Ensenada, B.C.