

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA

Escuela Superior de Ciencias Marinas

MEDICION DE CORRIENTES SUPERFICIALES EN
LA BAHIA DE TODOS SANTOS, B. C.

T E S I S

Que para obtener el Título
. de:

O C E A N O L O G O
presenta

LUIS GUSTAVO ALVAREZ SANCHEZ

Ensenada, Baja California.

1971

A G R A D E C I M I E N T O S

Este trabajo fué realizado en el Instituto de Investigaciones Oceanológicas, de la Universidad Autónoma de Baja California, a cuyo Director, Ocean. Katsuo Nishikawa K. expreso mi agradecimiento por las facilidades que me fueron otorgadas para llevar a cabo el proyecto de tesis.

En igual forma, mi agradecimiento a la Ocean. María - Luisa Argote E., Jefe del Departamento de Oceanografía Física del mencionado Instituto, por haber aceptado la dirección de esta tesis, por sus útiles recomendaciones y su asistencia en los trabajos de campo.

Mi reconocimiento a los alumnos de la Escuela Superior de Ciencias Marinas que participaron en los muestreos y especialmente a las siguientes personas del Instituto de Investigaciones Oceanológicas: Ocean. María Luisa Argote E., Ocean. Katsuo Nishikawa K., P.O. Homero Cabrera M., Antonio Badán D., P.O. Roberto Pérez H., P.O. Horacio Haro B., P.O. Alfredo Cota V., P.O. Román Lizárraga A., P.O. Alfredo Chee B. Ma. del Carmen Chávez G., P.O. María Luisa Granados G., P.O. Humberto Gomez A., y Mitsuro Uyeji M.

A su ayuda eficiente y constante disposición para el trabajo de campo se debe la realización del presente estudio que en su etapa de muestreo requirió de un elemento humano - muy numeroso.

Agradezco la ayuda del Ing. René Deveze T., de la Residencia de Obras Portuarias, quién proporcionó los mareógrafos para los días de muestreo.

También quiero hacer pública mi gratitud al Departamento de Oceanografía de la Oregon State University que por conducto del M.en C. Bruce Wyatt y el personal técnico a bordo del barco oceanográfico R/V "Cayuse", prestó su ayuda en las mediciones de corrientes en la bahía.

Mi agradecimiento al Dr. Richard A. Schwartzlose y al señor Donald V. Rosendahl de la Institución Scripps de Oceanografía por haber facilitado los instrumentos para la medición de corrientes con que concluyó este estudio.

A Mr. Joseph L. Reid de la Institución Scripps de Oceanografía agradezco las útiles críticas y recomendaciones para el presente trabajo.

Mi gratitud para el Data Collection and Processing Group de la misma Institución por haber puesto a nuestra disposición los datos sobre corrientes en la región adyacente a la Bahía de Todos Santos.

A la Srita. P.O. Carolina Morales Z. doy las gracias por el esmero con que llevó a cabo el trabajo de mecanografía de esta Tesis.

I N D I C E

CAPITULO	PAGINA
I	INTRODUCCION
	Antecedentes 1
	Propósito 4
	Importancia 6
	Descripción del Area 7
II	MATERIAL Y METODOS
	Métodos 15
	Material Empleado 17
	Obtención de Datos 22
	Procesamiento de Datos 26
III	RESULTADOS
	Descripción de las Mediciones 29
IV	DISCUSION
	Rasgos Generales 34
	Efecto del Viento 35
	Influencia de la Marea y Corriente Residual 42
V	CONCLUSIONES 50
	BIBLIOGRAFIA CITADA 52

I.- INTRODUCCION

Antecedentes.

Las investigaciones sobre las corrientes oceánicas frente a las costas de California y Baja California, se iniciaron hace más de 40 años acumulándose una cantidad de datos que permiten determinar a grandes rasgos las direcciones y velocidades con que se desplazan las masas de agua, así como sus variaciones espaciales y estacionales.

La gran mayoría de las observaciones de corrientes se han efectuado durante cruceros oceanográficos que las registran directa o indirectamente en regiones cuyas características revisten un especial interés. La región de la corriente de California ha sido estudiada en una franja de más de 100 millas de amplitud a partir de 5 o 10 millas de la costa para establecer el flujo promedio.

Las investigaciones de la extensa superficie que cubren las aguas afectadas por esta circulación no comprenden la zona adyacente a la costa debido a las complicaciones que se presentan por el efecto de la topografía del fondo y de la configuración de la costa cuando se trata de establecer una circulación general que implica trayectorias de miles de kilómetros.

Las corrientes cercanas a la costa han sido estudiadas en diversos lugares atendiendo a necesidades de carácter local y los resultados obtenidos no pueden generalizarse para regiones costeras extensas. Las aplicaciones de estos estudios a la Ingeniería de Costas y pesquerías son numerosas además de que el conocimiento de la circulación sirve de base o complementa investigaciones en otros campos de la Oceanología.

Cada lugar en particular tendrá sus propias características en cuanto a topografía del fondo, configuración costera, tipo de sedimentos y aporte de material por ríos, oleaje, mareas, aporte de aguas continentales, vientos dominantes y otros factores cuya influencia en el movimiento del agua oceánica debe tomarse en cuenta.

* Las observaciones físico-oceanográficas en la Bahía de Todos Santos son escasas. Los datos que se registraron con regularidad por un período de 14 años son las observaciones de temperatura superficial en 9 estaciones de la costa desde El Sauzal a Punta Banda. (C. Hubbs, -- 1948-1962) con observaciones mensuales.

* Las primeras observaciones directas de las corrientes en la Bahía de Todos Santos, fueron hechas frente a la punta Ensenada, donde hoy existe el rompeolas del Puerto, por el Ingeniero Sergio Carvallo Samperio (1944).

Siguiendo la trayectoria de flotadores por periodos de -- una a cuatro horas, obtuvo trayectorias y velocidades -- muy variables y concluyó que el desplazamiento se debió -- más bien al oleaje próximo a romper y a vientos momenta- neos.

En 1964, la Escuela Superior de Ciencias Marinas hi zo mediciones de corrientes producidas por mareas en el- puerto de Ensenada, Baja California (Brent Gallagher, -- James Larsen y Alumnos). Las corrientes registradas se a tribuyeron a la marea y presentaron intensidades de 2.67 cm/seg como máximo, 0.9 cm/seg como promedio. Durante el trabajo se emplearon cruces de deriva, recomendadas espe cialmente para medir intensidades bajas.

El Instituto de Investigaciones Oceanológicas, efec tuó estudios de corrientes en la zona eulitoral al sur - del puerto de Ensenada, en el mes de febrero (1967) de-- terminando una velocidad promedio de 37 cm/seg en direc- ción sureste. Con los datos de salinidad y temperatura - se elaboró un modelo por medio de las ecuaciones de movi miento, imponiendo restricciones muy severas en el que - sólo se consideró el efecto del gradiente de presión y - la fuerza de Coriolis, además de que la profundidad no - fué mayor de diez metros.

O'Brien y Zeevaert (1968) hicieron estudios de corriente relacionadas con las mareas en el Estero de Punta Banda y determinaron velocidades con altas intensidades características de lagunas costeras: 1.4 m/seg como máxima y 0.7 m/seg como promedio.

El análisis más reciente de la circulación en la bahía se hizo con base a datos de temperatura y configuración de la costa (R. Cárdenas Tesis, 1970). Se da un panorama descriptivo de la circulación cerca de la costa, sin contar con datos de velocidades determinadas directamente.

No existen pues, datos suficientes para describir la circulación superficial considerando los factores más importantes que influyen en ella y por un período lo suficientemente largo que permita un análisis de las fluctuaciones básicas en cuanto a magnitud y dirección de la corriente.

Propósito.

El proyecto de estudio de corrientes en la Bahía de Todos Santos tiene como fin en su realización contribuir al conocimiento de los procesos físicos que caracterizan esta región del océano y su posible aplicación a los problemas locales que requieren datos sobre Oceanografía.

Por observaciones anteriores conocemos rasgos muy -
generales del movimiento superficial del mar dentro de -
la Bahía y en más de una ocasión las conclusiones han re-
sultado contradictorias seguramente debido al corto lap-
so de mediciones que hizo imperceptibles los cambios que
se presentan a intervalos de tiempo mayores que el tiem-
po de observación. Por otra parte existen ciertas anoma-
lías en la distribución horizontal y vertical de la tem-
peratura en el sur de la Bahía (C.L. Hubbs, com.per.) --
que se han atribuido a la influencia del viento sobre --
las capas superiores de agua y a la configuración de la-
costa.

El análisis de las observaciones tiene por objeto -
determinar los factores principales que afectan la circu-
lación superficial en la Bahía como pueden ser las mareas,
el viento y la corriente permanente del sistema de circu-
lación a gran escala que existe a lo largo de las costas
de Baja California.

Las observaciones se distribuyen en seis meses en -
los cuales se presentan cambios sensibles en el sistema-
de la corriente de California y en el régimen de vientos
locales.

Importancia.

Mediante este tipo de estudios puede estimarse la renovación a que están sujetas las aguas de la Bahía debido a los procesos de mezcla que se ven favorecidos por las corrientes.

La circulación oceánica es un factor importante en la distribución de las propiedades físico-químicas del agua de mar y con respecto a este punto surge la primera aplicación importante en las consideraciones sobre el diseño y localización de desembocaduras de drenajes industriales y urbanos proyectados con base a estudios oceanográficos que den a conocer los procesos de difusión a -- que van a estar sometidas las aguas contaminadas y evitar que sean concentradas por los agentes naturales en regiones costeras en contacto directo con el hombre o -- pueden causar daños a las condiciones ecológicas del medio marino.

Actualmente en diferentes partes del mundo, están en marcha programas de cultivo de organismos marinos aprovechables por el hombre en regiones oceánicas litorales donde se trata de aprovechar al máximo las ventajas que ofrecen las propiedades físicas y químicas del agua de mar, tales como temperatura, salinidad, oxígeno di-

suelto, nutrientes, añadiéndose actualmente el grado de contaminación. Características que, como se dijo anteriormente, están en relación directa con el transporte de agua producido por las corrientes.

Descripción del área.

Temperatura.- Las localidades mencionadas a continuación son con referencia a la figura 1. En general, la variación anual de la temperatura superficial en la Bahía es de 5.5°C con un mínimo de 14°C en marzo y un máximo de 20°C en agosto. En junio y julio la temperatura promedio es de 16°C y alcanza 18.3°C en las partes interiores de la Bahía. La capa de mezcla es de .5m a 3.0m durante esta época. La temperatura máxima se registra en agosto con 21.5°C . La influencia del agua más caliente del Estero de Punta Banda sobre la temperatura del agua de la Bahía es más notoria en primavera y verano. (Walton 1955).

La termoclina es menos profunda en invierno. En verano se encuentra a mayor profundidad y es más comprimida. Existen variaciones en el espesor de la capa mezclada, que puede encontrarse hasta los 70 m en invierno y de sólo 3 m en verano. En el fondo la temperatura varía de 10°C en el cañón submarino, a 12.8°C cerca de la cos-

ta siguiendo aproximadamente la isobata de los 20 m. El agua del fondo tiene una variación anual menor de 1°C en las partes más profundas del cañón y de 5.5°C cerca de la costa (Benson 1959).

El análisis de los datos de temperatura superficial obtenidos por el Dr. C.L. Hubbs (1948, 1962) muestra variaciones tanto en rangos como en las máximas y mínimas anuales para diferentes puntos de la costa en la Bahía.- El rango anual en la costa norte es aproximadamente de 7°C , en el puerto de Ensenada alcanza 9°C y en la costa sur es casi de 10°C , la máxima variación anual se presenta en el Estero de Punta Banda, donde en su extremo sur hay un rango anual de 13°C . Fuera de la Bahía, en la costa SW de Punta Banda, el rango es de sólo 5°C .

Las temperaturas máximas en la costa norte son generalmente de 22°C y dentro del puerto de 25°C . En el estero de Punta Banda se alcanzan temperaturas máximas anuales de 28°C . Comúnmente éstas máximas se presentan en el mes de agosto y coinciden con las máximas registradas en otras localidades muestreadas fuera de la Bahía.

Las mínimas ocurren en enero o febrero dentro de la Bahía. En la costa SW de Punta Banda se presenta el caso especial en que la temperatura mínima se presenta entre -

los meses de abril y mayo o inclusive junio, como reflejo de la surgencia que se presenta debido a los vientos que en esta época del año son más intensos en la región.

Topografía submarina..- La Bahía de Todos Santos es de aguas poco profundas (Fig.1). Cerca del 80% del área del fondo se encuentra a menos de 50 m de profundidad y el resto forma parte del angosto cañón submarino de Todos Santos, entre las Islas Todos Santos y Punta Banda, con salida al SW.

La Bahía tiene prácticamente dos entradas bien diferenciadas en su topografía submarina, cuya única división la constituyen las dos pequeñas islas al oeste. La entrada NW, de 12 Km de ancho tiene profundidades menores de 50 m y algunos bajos hasta de 6 m a la mitad de la sección.

Respecto de esta zona, Shep^ard (1963) establece: "al norte de las islas la plataforma es rocosa con depósitos de grava y arena y la intensidad de las corrientes está indicada por las grandes rizaduras que se observan en las fotografías del fondo....".

El fondo de la entrada SW, de 6 Km de ancho tiene pendientes pronunciadas sobre todo en las proximidades -

de las islas. A 1 Km de la Isla Sur, en dirección de Punta Banda, la profundidad alcanza 150 m y a 2 Km es de casi 400 m en el fondo del cañón submarino.

Punta Banda tiene una prolongación submarina de 3 - Km hasta la isobata de 50 m a partir de la cual la pen--diente cambia bruscamente al borde del cañón, haciéndose muy pronunciada.

En la bahía las isobatas superiores a 50 m son irregulares y sólo a partir de la isobata de 15 metros tien--den a ser paralelas a la línea de costa, especialmente -- en el margen este que está constituido por playas areno--sas.

El estero de Punta Banda es una laguna costera pe--queña separada de la Bahía por una barra arenosa de po--co más de 7 Km de longitud que parte de la base de Punta Banda. Está formada por un canal angosto en forma de "I" -- de poca profundidad que alcanza un máximo de 6 metros. -- Al este del canal se extiende una marisma poco desarro--llada cortada por pequeños canales sinuosos (Walton 1955).

El área de la laguna es de 2.6 Km^2 durante las ma--reas más bajas y de 10.7 Km^2 durante las mareas más al--tas.

La relación entre la amplitud de la marea en la la-

guna y la del océano es de 1.03 y el atraso observado entre la boca y el extremo sur es de 43 minutos. El volumen entre el nivel de mareas bajas medias y el nivel de mareas altas medias es de $8.45 \times 10^6 \text{ m}^3$ (O'Brien y Zeevaert, 1969).

Corrientes.- La circulación a gran escala que se presenta frente a las costas de Baja California está representada por el flujo geostrofico de la corriente de California que ha sido determinada en una franja de 300 millas de amplitud y hasta los 200 metros de profundidad, con movimientos generales al SE, paralelo a las costas de Estados Unidos y Baja California, México.

Esta circulación presenta variaciones estacionales y es más bien irregular debido a la presencia de giros que permanecen durante todo el año o aparecen durante algunos meses (Reid, Roden y Wyllie, 1956). Esta corriente se ha estudiado a gran escala y las estructuras dentro del flujo con dimensiones menores de 10 millas son difícilmente apreciables (Wyllie, 1966).

Esto ocasiona que tengamos un conocimiento muy escaso del comportamiento de la corriente en la región adyacente a la costa. Sin embargo, se han logrado establecer que el flujo hacia el SE de la corriente de California, se aproxima más a la costa durante abril y mayo y hacia-

fines de verano tiende a alejarse.

En la misma región, por debajo de los 250 metros, existe la contra-corriente de California que fluye al NW (Reid et al, 1958), la cual hasido medida directamente a 250 metros de profundidad a los 37° N, frente a Monterey California, EE. UU. (Reid, 1962) con velocidades alrededor de 0.4 nudos hacia el NW en una franja de 40 millas contigua a la costa.

También ha sido determinada a los 30°30'N frente a San Quintín, Baja California, México, con intensidades menores de 8 cm/seg en dirección N y NW (Reid, 1963).

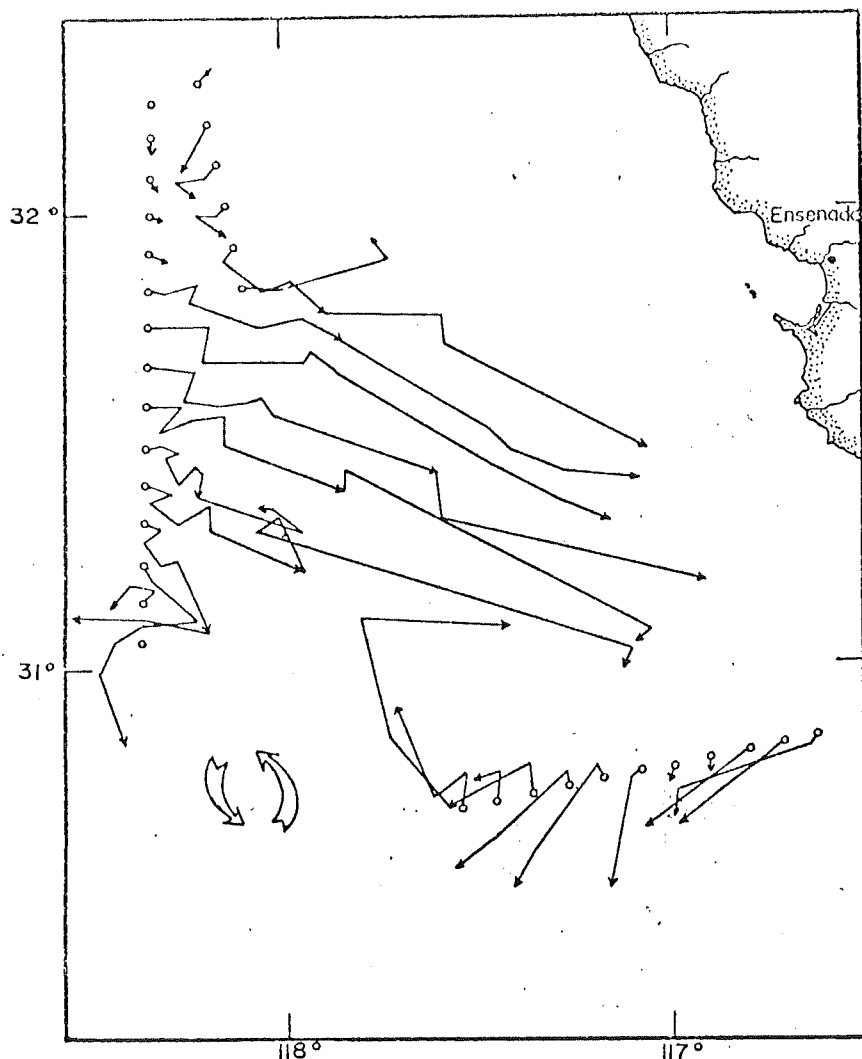
En los meses de otoño e invierno, cuando los vientos del norte son menos intensos y la corriente de California se aleja de la costa, aparece frente a las costas de Estados Unidos una corriente superficial adyacente a la costa que circula en sentido NW, opuesto al de la corriente de California y que Sverdrup (1942) atribuye a la manifestación superficial de la contracorriente que existe normalmente bajo los 200 metros y que sube a capas superiores al alejarse de la costa la mencionada Corriente de California.

Esta contracorriente superficial ha sido determina-

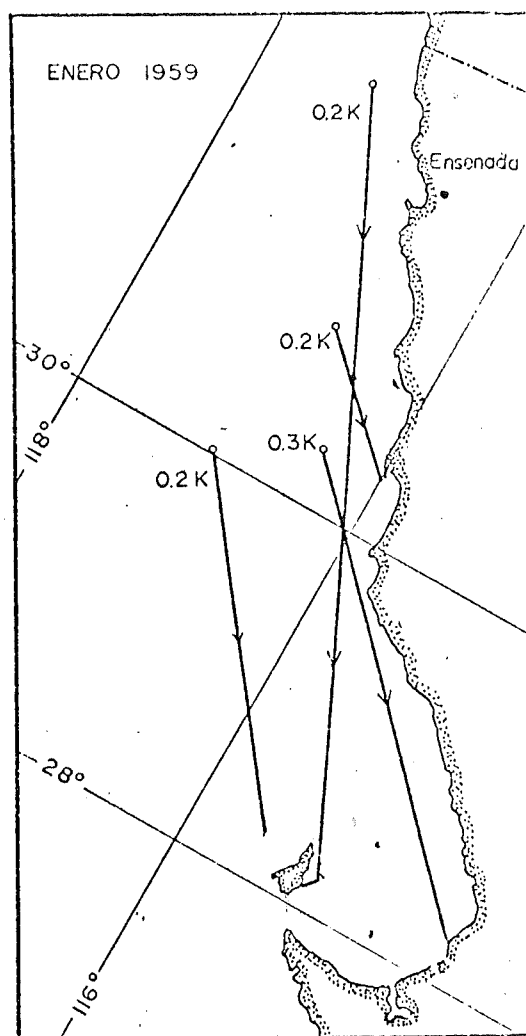
aa con base a datos de botellas de deriva (Schwartzlose, 1962) y se ha localizado desde las costas del sur de California hasta el norte de Columbia Británica durante -- los meses de otoño e invierno con magnitudes alrededor -- de 0.5 nudos (Fig. 1b, 1c). Reid y Schwartzlose (1963) -- determinaron esta contracorriente cerca de los 37°N donde se le ha dado el nombre de Corriente de Davidson. En octubre aparentemente estaba iniciándose y en enero se -- había establecido completamente con flujo hacia el norte con intensidades de 0.3 a 0.5 nudos.

En las costas de Baja California existen pocos da-- tos al respecto y no se ha establecido claramente la presencia de la contracorriente aunque existe evidencia de-- que aparece flujo al NW en algunas ocasiones durante el invierno.

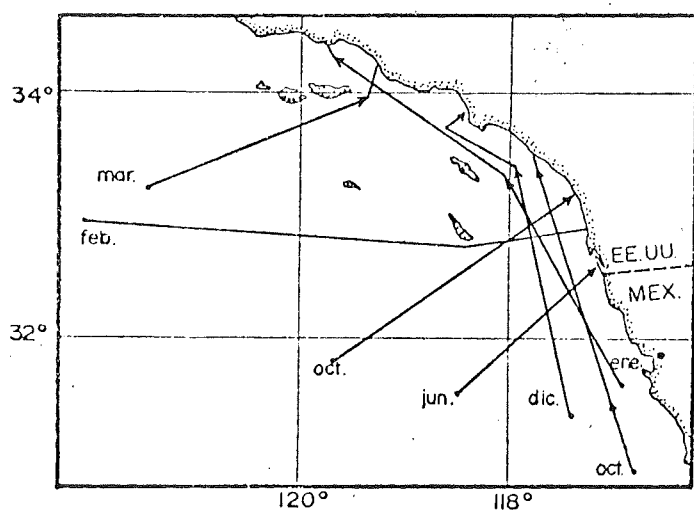
Mediciones más extensas realizadas en octubre por -- Reid, Schwartzlose y Brown (1963), entre los 30°N y 32°N , -- a 40 Km de la costa frente a la bahía de Todos Santos, -- comprobaron la presencia de un pequeño giro que aparece en la superficie como estructura característica del flujo geostrófico en este lugar (Fig. 1a). El giro, en sentido positivo y con diámetro de 90 Km. aparece a los 118°W y 31°N . Además de comprobar la existencia del giro, los flotadores libres indicaron un transporte de aguas super



(1a)



(1b)



(1c)

Fig 1a.- Trayectorias de algunos flotadores libres superficiales para Octubre, 1959. Las dos flechas inferiores indican el giro descrito por otros flotadores. (Reid, Schwartzlose y Brown, -- 1963).

Fig 1b.- Flujo indicado por botellas de deriva para Enero, 1959. (Schwartzlose, 1962).

Fig 1c.- Flujo indicado por botellas de deriva para varios meses. (Schwartzlose, 1962).

ficiales hacia la costa cerca de los 32°N con velocidad promedio de 21 cm/seg, parte del cual se desvía hacia el norte y parte al sur en esta latitud.

Aunque el giro aparece la mayor parte del año, se manifiesta más intensamente en invierno y es menos acentuado en abril. No existe evidencia de cambios en su posición geográfica y su presencia ha sido atribuida al transporte de momento de la Contracorriente de California que existe en este lugar como en toda la costa de la península, por debajo de los 200 metros de profundidad.

II.- MATERIAL Y METODOS

Existen dos métodos básicos para el estudio de las corrientes oceánicas que dan origen a dos métodos gráficos de representación de las mismas.

El Método Euleriano estudia las corrientes observando el comportamiento de la circulación en un punto del espacio, a través del tiempo. Su representación gráfica, el Método de Flujo, 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 atendiendo a varios puntos simultáneamente obteniéndose así un cuadro más completo de la circulación dentro de una área determinada.

El método Lagrangiano consiste en observar una partícula del fluido en movimiento al desplazarse por el espacio. La representación gráfica consiste en una línea que indica el recorrido de la partícula. Este es el Método de las Trayectorias, con el cual se describe el campo de la corriente si se conoce el movimiento de varias partículas de fluido durante el mismo intervalo de tiempo, con sus respectivas trayectorias.

Ambos métodos han sido utilizados extensamente en Oceanografía. El primero en particular, requiere de ins-

trumentos que midan el flujo en un punto o preferentemente que den un registro continuo con respecto al tiempo. El empleo de este método se ha extendido más en la actualidad por los avances logrados en el diseño de correntómetros graficadores capaces de registrar continuamente - por varios días sin necesidad de atención constante.

La aplicación del Método de las Trayectorias se ha hecho sistemáticamente desde varios años atrás con las expediciones del H.M.S. "Challenger". El movimiento de una partícula de fluido corresponde aproximadamente al que efectúa un objeto a la deriva flotando en el fluido. Las primeras investigaciones se hicieron aprovechando -- los datos de deriva de las embarcaciones, es decir, las modificaciones sufridas por el curso del barco, debido -- entre otros factores, a las corrientes superficiales. El desplazamiento de los icebergs y restos flotantes de algunas embarcaciones han servido también para describir el movimiento de las masas de agua por este método.

Los objetos diseñados especialmente para este tipo de estudio han sido utilizados desde fines del siglo pasado, entre los que destacan las botellas de deriva, tarjetas de deriva y cruces de deriva (drogues). Wiegel y Johnson (1959) han hecho una amplia descripción de los principales flotadores libres para el estudio de corrien

tes.

Material empleado.

Ambos métodos se utilizaron en el presente estudio, pero particularmente el de las trayectorias se empleó en la mayoría de los muestreos. El material consistió en -- flotadores libres con cruz de deriva o con paracaídas y correntómetros graficadores con rotor de Savonius.

Los flotadores libres consisten de una parte flotante que sobresale de la superficie para fines de localización y otra parte sumergida inmediatamente bajo la superficie o bien en la profundidad a la cual se quiere determinar la corriente, uniéndola con un cable a la parte superficial.

La porción sumergida debe presentar una área varias veces mayor que la porción flotante superficial para que el arrastre producido por la corriente por determinar sea el que domine sobre el arrastre que afecta la parte flotante ocasionado por la corriente superficial y el viento.

Las consideraciones teóricas sobre el funcionamiento de las cruces de deriva, están dadas por la resistencia que éstas presentan al paso de un fluido en movimiento, según el principio de hidrodinámica:

$$F_D = C_D A \frac{\rho V^2}{2}$$

donde:

F_D es la fuerza de resistencia, la cual se presenta opuesta a la velocidad de aproximación.

C_D es el coeficiente de resistencia

A es el área de la proyección del cuerpo sumergido.

ρ es la densidad del fluido, y

V la velocidad de flujo.

Para el diseño de las unidades tenemos las siguientes consideraciones:

La fuerza que actúa sobre el flotador superficial está dada por:

$$F_C = \frac{1}{2} C_D A_S \rho (V_1 - V_a)^2$$

y la fuerza que actúa sobre la cruz sumergida:

$$F_C = \frac{1}{2} C_D A_C \rho (V_a - V_2)^2$$

donde:

C_D es el coeficiente de arrastre

A_S es el área de la superficie proyectada del flotador superficial.

A_C es el área de la superficie proyectada de la cruz sumergida.

ρ es la densidad del fluido.

V_1 es la velocidad en la superficie.

V_2 es la velocidad en la región de la cruz sumergida .

V_a es la velocidad aparente de todo el sistema.

Si no existe aceleración en el sistema, las fuerzas F_C y F_S son iguales y considerando que el coeficiente de arrastre es igual para el flotador superficial y la cruz sumergida, resulta:

$$(V_1 - V_a)^2 = \frac{A_C}{A_S} (V_a - V_2)^2$$

Para el equipo utilizado, $A_C = 4 \times 10^4 \text{ cm}^2$ y $A_S = 5 \times 10^2 \text{ cm}^2$ obteniendo:

$$V_2 = 1.11 V_a - 0.11 V_1$$

Bajo estas condiciones se puede aceptar la velocidad observada V_a muy aproximada a la velocidad V_2 y para el caso en que el flotador superficial y la cruz están juntos, el error en que se incurre es despreciable.

No se calculó una corrección por viento considerando que los muestreos se hicieron en días con viento de inten

sidad baja, y además el tamaño de la cruz de deriva es - muy grande en relación a la superficie expuesta sobre la superficie. *Coleman*

Diseño de los flotadores libres.

Flotador superficial.- La disposición de cada uno - de los elementos se muestra en la figura 2.

El flotador superficial consta de las partes siguientes:

- un mástil hecho con tres metros de tubo galvanizado liviano de 1.2 cm (1/2") de diámetro, unido a otro tubo del mismo material, de tres metros de largo y 1.9 cm (3/4") de diámetro.
- un flotador rectangular de 50x50x15 cm con su identificación y el número de flotador.
- un grillete de 12.5 Kg como lastre para mantener -- vertical el mástil.
- una bandera de plástico anaranjado fluorescente de 50x50 cm.
- una linterna "Coleman" de un quemador colocada sobre el mástil para localización nocturna.

Cruz sumergida.- La cruz fué construida con:

- dos piezas de tela de 2x2 metros unidas alo largo - de su línea media para formar la cruz con dos pla--

nos perpendiculares entre sí.

-dos armazones en forma de cruz, hecha con tubo galva
nizado para sostener la cruz de tela en sus partes su
perior e inferior.

-un grillete 5 Kg unido a la armazón inferior para --
mantener tensión en la tela y dar la mayor rigidez -
posible.

-un flotador de plástico espuma aislante de 50x50x7 cm
(para los casos en que la cruz estuvo separada del -
flotador superficial).

Las cruces fueron unidas al flotador superficial de
dos maneras:

a) introduciendo los dos metros inferiores del tubo
de 1.9 (3/4") por el centro de la cruz de tela y las dos
armazones (Fig 2a). La cruz se mantuvo extendida sujetan
do al tubo vertical la armazón superior y con un lastre-
de 5 Kg en la armazón inferior. Con este método se presen
taron dificultades al lanzar y recobrar los flotadores -
debido a que el tamaño de la estructura era difícil de -
manejar desde la embarcación pequeña. El problema se hu-
biera resuelto con una embarcación mayor provista de un-
pescante adecuado. La conveniencia de este método es que
el tubo de más rigidez a la cruz de tela al atravesarla-

por el centro.

b) El segundo método (Fig 2b), resultó el más conveniente para la embarcación porque se lanza primeramente el flotador superficial y una vez en el agua, se lanza la cruz de tela con su propio flotador y lastre, unida al mástil vertical por cinco metros de cuerda de polipropileno.

Como equipo adicional se utilizaron dos paracaídas con diámetro de 4.9 m (16') y 8.2 m (27') adaptados para medir corrientes subsuperficiales (Fig.3) de la manera descrita por Volkman, Knauss y Vine (1956).

Para localizar los flotadores durante la noche se probaron luces eléctricas sin rendir resultados satisfactorios. En vez de éstas se optó por colocar en el mástil una linterna de gasolina de un quemador que dió resultados satisfactorios y fué utilizada en lo posible.

En un caso excepcional se emplearon antenas reflectores de radar en la parte más alta del mástil para localizar los flotadores por medio de radar a bordo de una embarcación.

Obtención de datos.

Los flotadores libres fueron lanzados desde una em-

barcación en lugares escogidos previamente. La primera observación se hizo a bordo del barco oceanográfico "R/V Cayuse". Se colocaron dos flotadores en la superficie y uno sub-superficial. En la superficie una cruz de deriva de 1.2 m por un lado y un paracaidas. Otro paracaidas se colocó a 30 m. Todos los flotadores iban equipados con una antena reflectora de radar en la parte más alta del mástil, con el objeto de localizarlos en la pantalla de radar de la embarcación de la manera siguiente: Las posiciones sucesivas de los flotadores se tomaron cada 15 minutos midiendo la distancia y orientación de cada uno -- con respecto a la embarcación la cual permanece a la deriva. La situación del barco se toma simultáneamente en cada serie de lecturas refiriéndose a un flotador fijo -- anclado previamente.

La tabulación de los datos para la situación de cada flotador se hizo en la forma siguiente:

Distancia-Ángulo en el radar-Rumbo de la aguja-Variación
Desvio-Rumboverdadero-Hora-Viento.

Con este método se pueden seguir fácilmente varios flotadores en la pantalla del radar, incluyendo el flotador fijo de referencia. El procedimiento anterior ha sido empleado extensamente por Stevenson, Patullo, Wyatt y --

Gilbert (1967), Volkman, Gordon, Knauss y Vine (1956), -
Reid y Schwartzlose. *Qm 4*

Las mediciones posteriores se hicieron a bordo de una embarcación de 18 pies de eslora, con motor Diesel y la localización de los flotadores se hizo desde tierra - por medio de dos tránsitos situados en dos puntos de triangulación. El personal de cada tránsito estaba provisto de formas de registro, una unidad de radio y luces (Fig. 4).

Cuando la embarcación estaba a punto de lanzar los flotadores se establecía comunicación por radio con los tránsitos para iniciar la localización simultáneamente, midiendo los ángulos internos entre una línea de base y la visual entre cada tránsito y el flotador.

Durante las primeras observaciones se tomaron lecturas angulares cada 30 minutos y posteriormente cada 15 minutos, aunque esto fué posible únicamente bajo condiciones óptimas de visibilidad. Se presentaron casos en que el flotador se perdió de vista por tiempo considerable. Este inconveniente hizo necesario que los tránsitos siguieran un solo flotador en las primeras mediciones y conforme se ganó experiencia se siguieron dos a un tiempo.

En cada tránsito se anotaron los siguientes datos:
Hora - Ángulo - Velocidad del viento - Altura del oleaje .

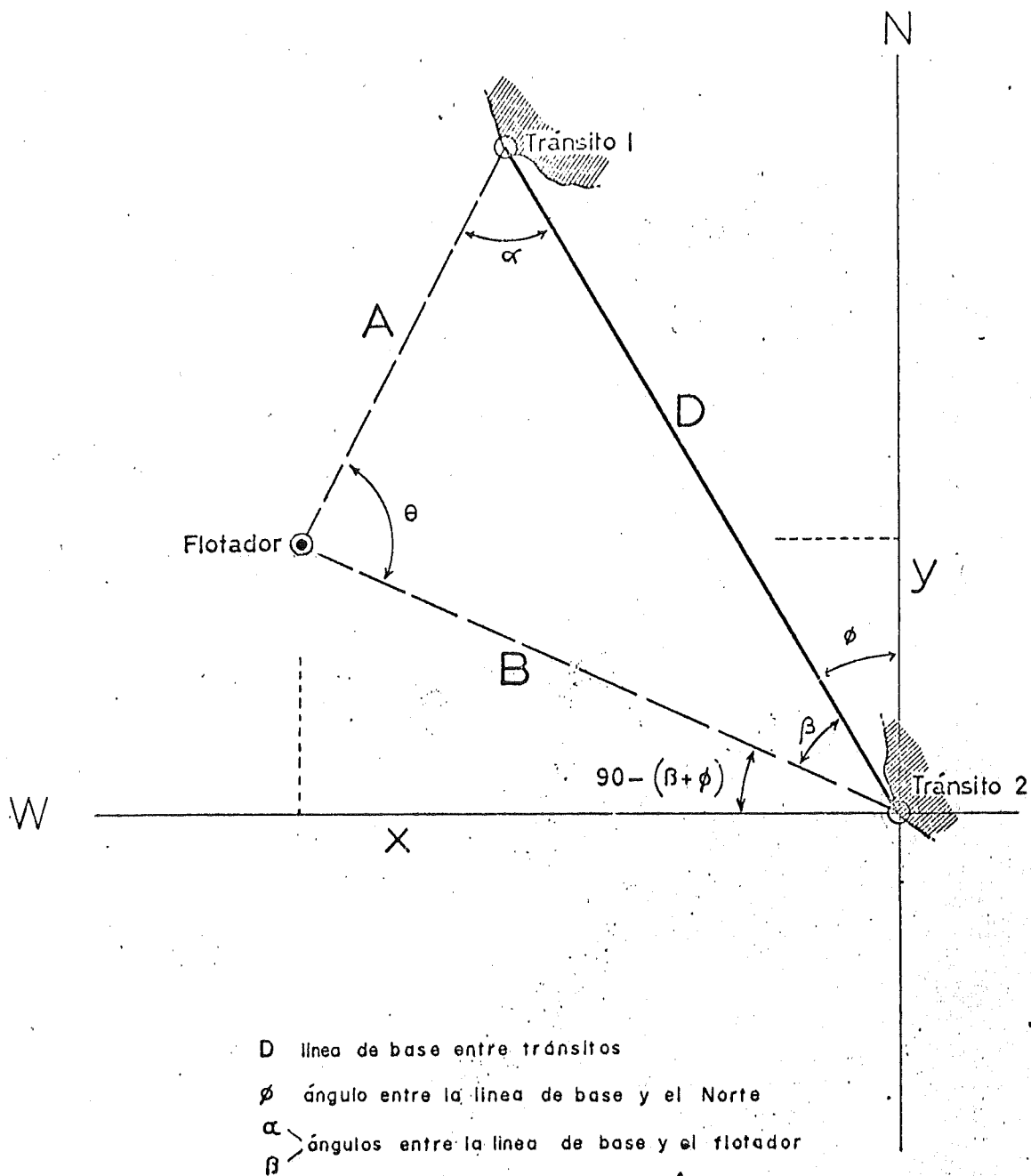


Fig 4.- Localización de los Flotadores libres y su referencia al sistema de coordenadas.

Para cada período de observación se obtuvo el mareograma correspondiente registrado en el puerto de Ensenada.

Con el objeto de completar por lo menos un ciclo de marea se instalaron dos correntómetros graficadores Modelo 6, con rotor de Savonius en los puntos A y B (Fig.5a). Los instrumentos registran continuamente una gráfica con la dirección e intensidad de la corriente. Aunque originalmente están diseñados para medir corrientes en aguas profundas (hasta 8,000 m), se colocaron a dos metros bajo la superficie (Fig.5b) donde la profundidad es de 22 metros.

Unicamente el instrumento del punto A proporcionó - datos satisfactorios por 40 horas consecutivas.

Se efectuaron dos observaciones directas de corriente de deriva en los 15 centímetros superiores por medio de botellas de deriva liberados en un punto en la región A (Fig. 1) y situados una hora después con sextante. Para corregir la corriente superficial por flujo ocasionado por otros agentes distintos del viento se utilizó una -- cruz de deriva a 12 metros de profundidad y se situó al mismo tiempo que las botellas de deriva. La corriente -- producida por el viento se obtiene restando la corriente medida con la cruz de deriva. El viento se midió con un-

anemómetro haciendo observaciones cada 15 minutos para obtener el promedio de intensidad y la dirección más frecuente.

Se efectuaron períodos de mediciones, todos concentrados en la región norte de la Bahía distribuidos en la siguiente forma:

TABLA I

Distribución de las observaciones de corrientes.

CLAVE	NUM. DE FLOTADORES	FECHA	DURACION
OFC-I	1 superficial	Abr.9 1970	11 Hs.
OFC-II	1 superficial	Sep.4 1970	6 "
OFC-III	1 superficial	Sep.23 1970	10 "
OFC-IV	1 superficial	Dic. 5 1970	10 "
OFC- V	1 superficial	Dic.30 1970	12 "
OFC-VI	2 superficiales	Ero.23 1971	16 "
OFC-VII	2 superficiales	Feb.12 1971	20 "
OFC-VIII	2 correntómetros graficadores.	Jun.24-25-26	39 "
OFC-IX	Botellas de deriva superficiales.	Ago. 10 , 14.	

Procesamiento de datos.

Las posiciones sucesivas de los flotadores fueron -

referenciadas al sistema de coordenadas cartesianas (Fig. 4), por medio de las fórmulas:

$$X = B \cos \gamma$$

$$Y = B \sin \gamma$$

en las cuales:

$$B = \frac{D \sin \alpha}{\sin \theta}$$

$$\text{donde } \theta = 180 - (\alpha + \beta)$$

$$\gamma = 90 - (\beta + \theta)$$

En algunos casos se presentaron valores negativos para el ángulo γ pero sólo se consideró su valor absoluto para obtener los valores del seno y coseno.

Una vez obtenidas las coordenadas de la posición del flotador después de cada intervalo de tiempo, se calcularon las componentes del desplazamiento en dirección de los ejes X y Y (norte, sur, este-oeste), con lo cual se obtuvo la intensidad promedio de la corriente, en el intervalo de tiempo.

Las X positivas representan la corriente hacia el oeste y las negativas hacia el este. Similarmente las Y positivas representan la corriente al norte y las negativas al sur. El sentido del desplazamiento se dedujo observando la representación gráfica de las trayectorias descritas por los flotadores.

III.- RESULTADOS

Descripción de las mediciones.

OFC-I (Abril 9, 1970).-- Las trayectorias de los flotadores, superficial, a 7 metros y a 30 metros están representadas en las figuras 6a, 6b, 6c.

El análisis de los datos dan las características anotadas en la tabla II.

TABLA II

Características de la corriente indicada por tres flotadores en la observación OFC-I (Abr.9, 1970)

Tipo	<u>Flotador 0</u>	<u>Flotador 1</u>	<u>Flotador 2</u>
	cruz	paracaidas	paracaidas
Profundidad	0 a 1.5 m	0 a 7 m	30 m
Velocidad promedio (cm/seg)	Vx: 21.5 Vy: - 0.1	13.9 - 2.6	-0.5 -4.0
Período de variación	Tx: 8.5 Hrs. Ty: 6.0 Hrs.	6.0 Hrs. 12.5 Hrs.	7.5 Hrs. 9.5 Hrs.
Amplitud de oscilación	Ax: 0.4 M.N. Ay: 0.24 M.N.	0.17 M.N. 0.29 M.N.	0.05 M.N. 0.06 M.N.

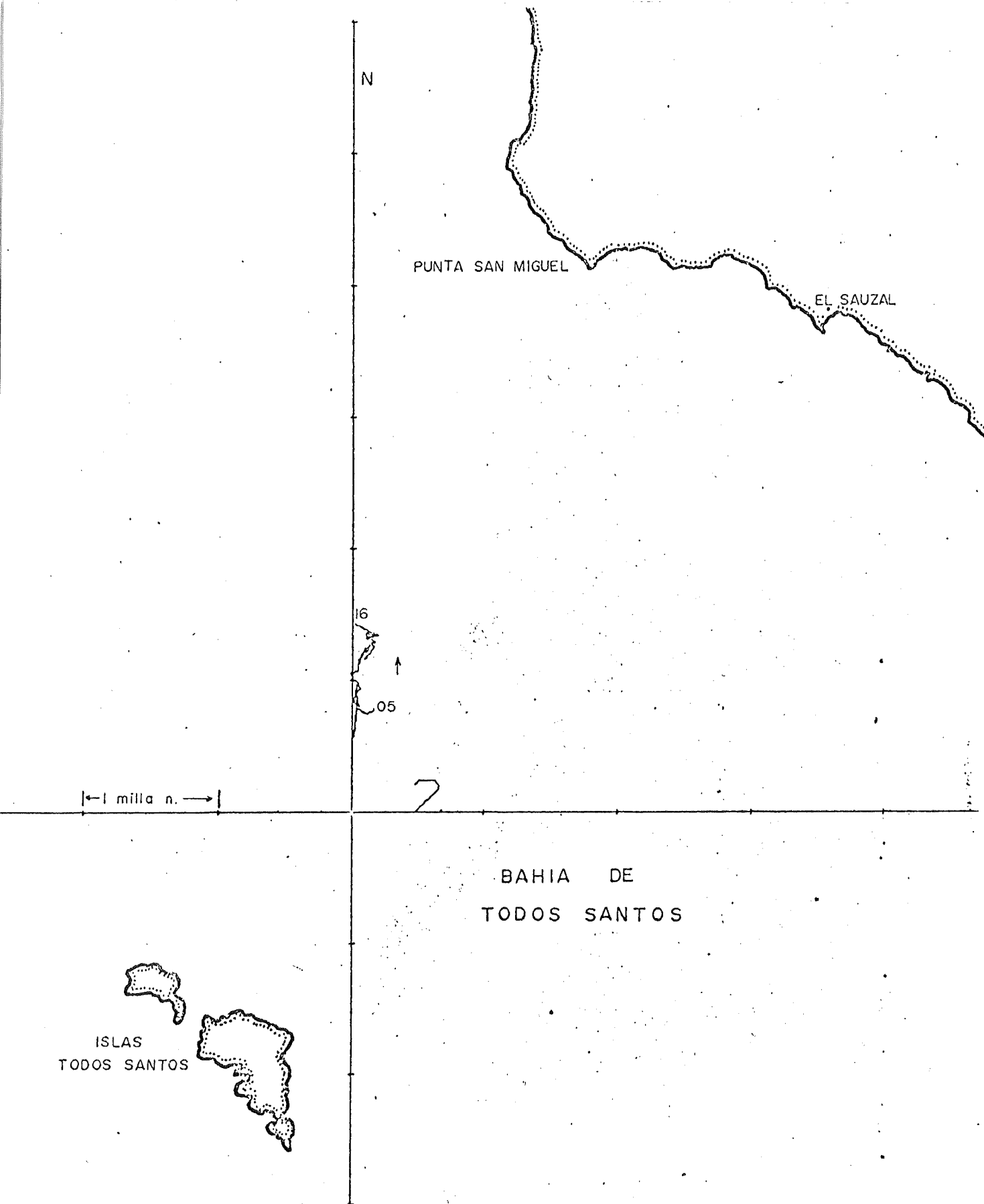


Fig 6 (c).- Trayectoria del flotador con paracaídas a 30 metros de profundidad en la medición OFC-I (abr. 1970). Hora local y sentido de flujo indicados.

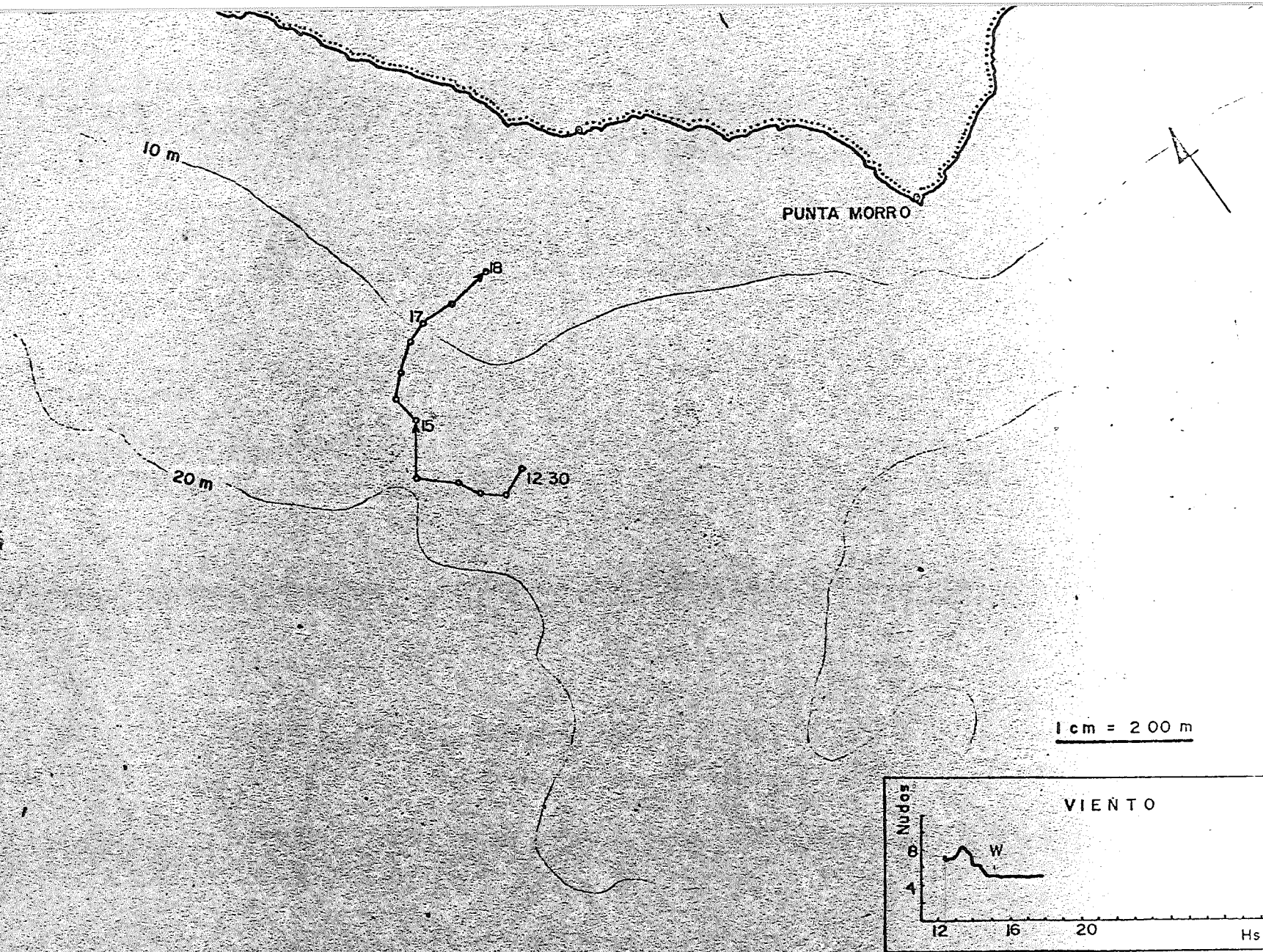


Fig 7 (a).- Trayectoria de la cruz de deriva superficial en la medición OFC-II (sep. 1970).

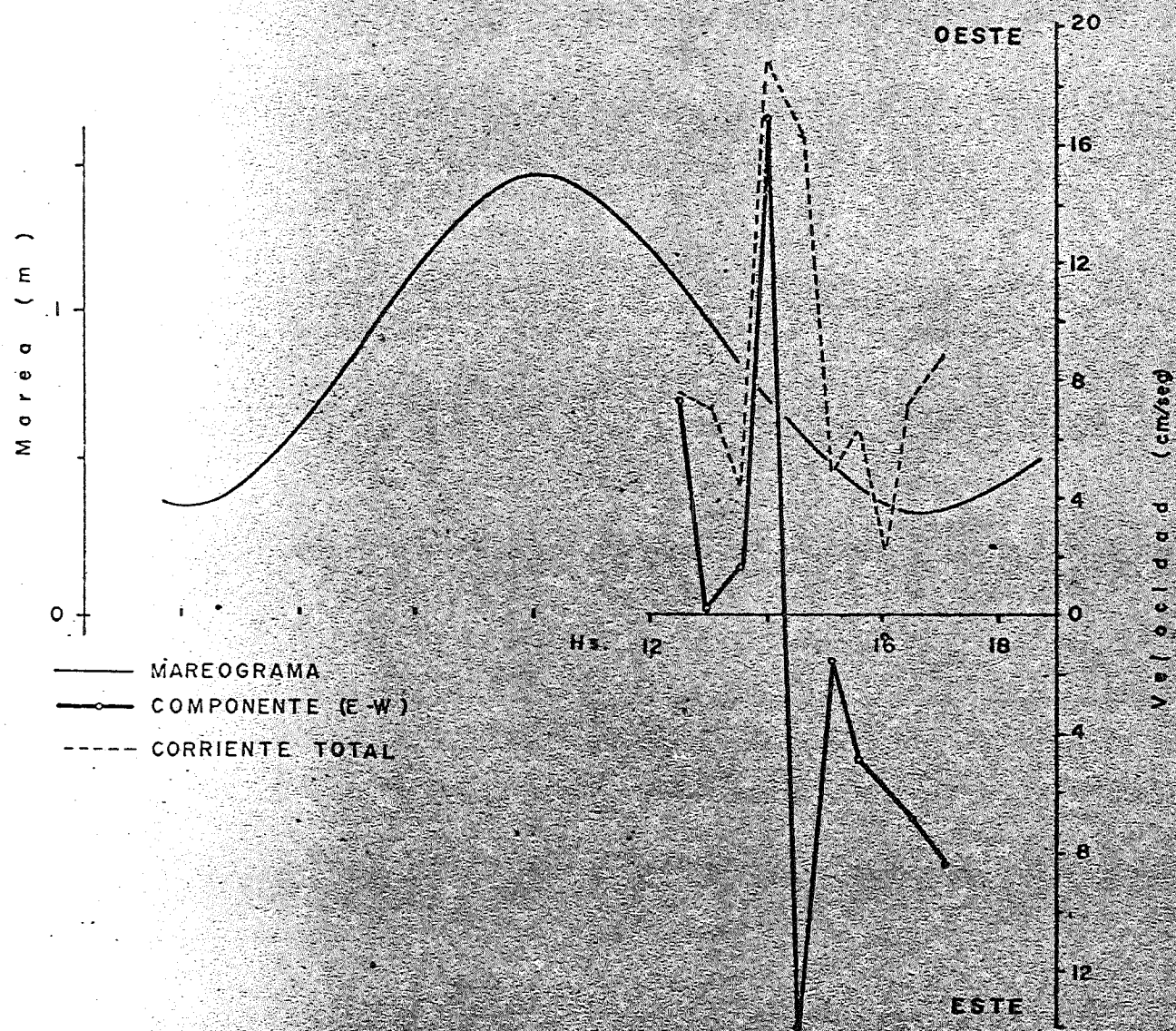


Fig 7 (b).- Velocidad de la corriente y mareograma para la medición OFC-II.

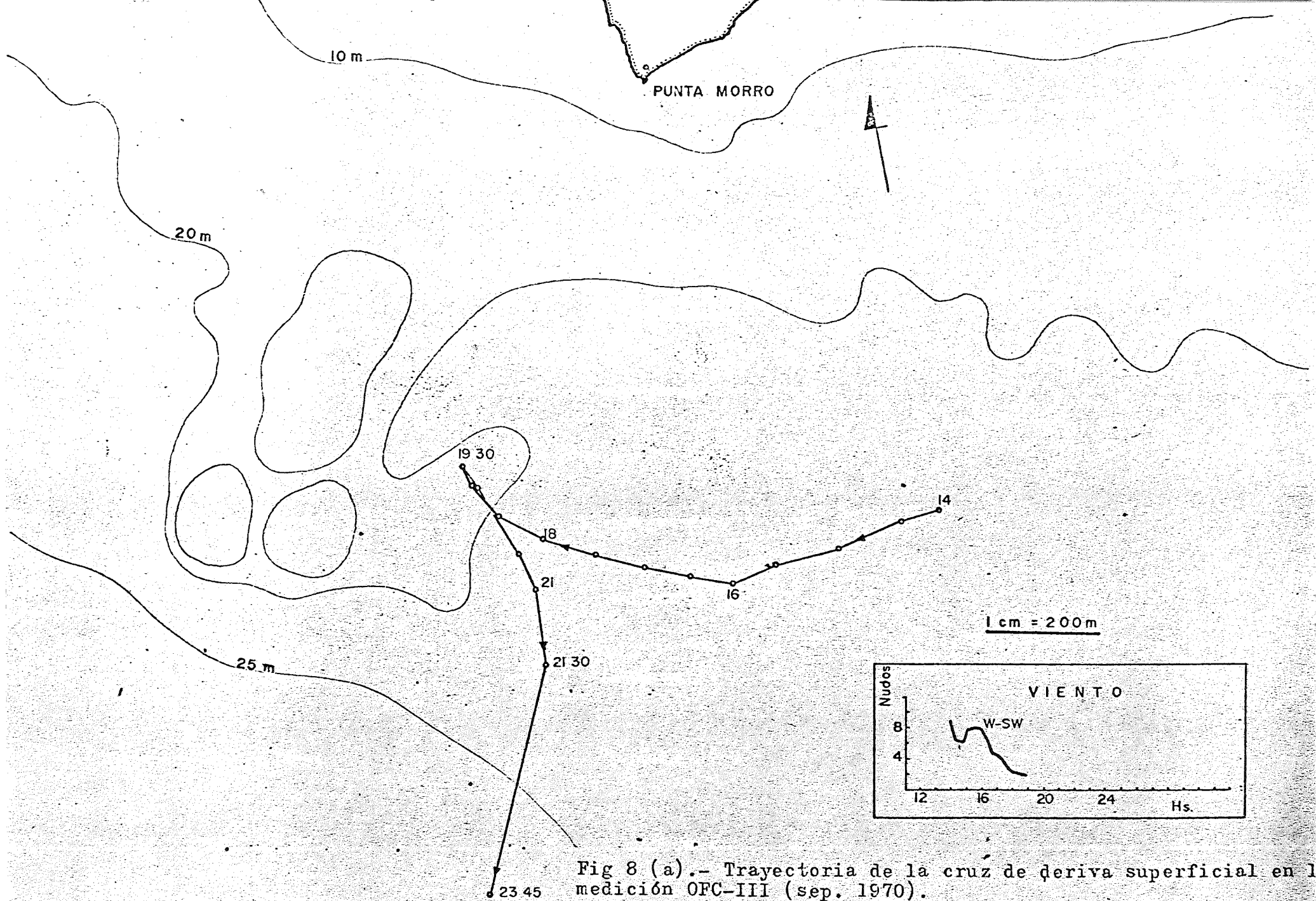


Fig 8 (a).- Trayectoria de la cruz de deriva superficial en l medición OFC-III (sep. 1970).

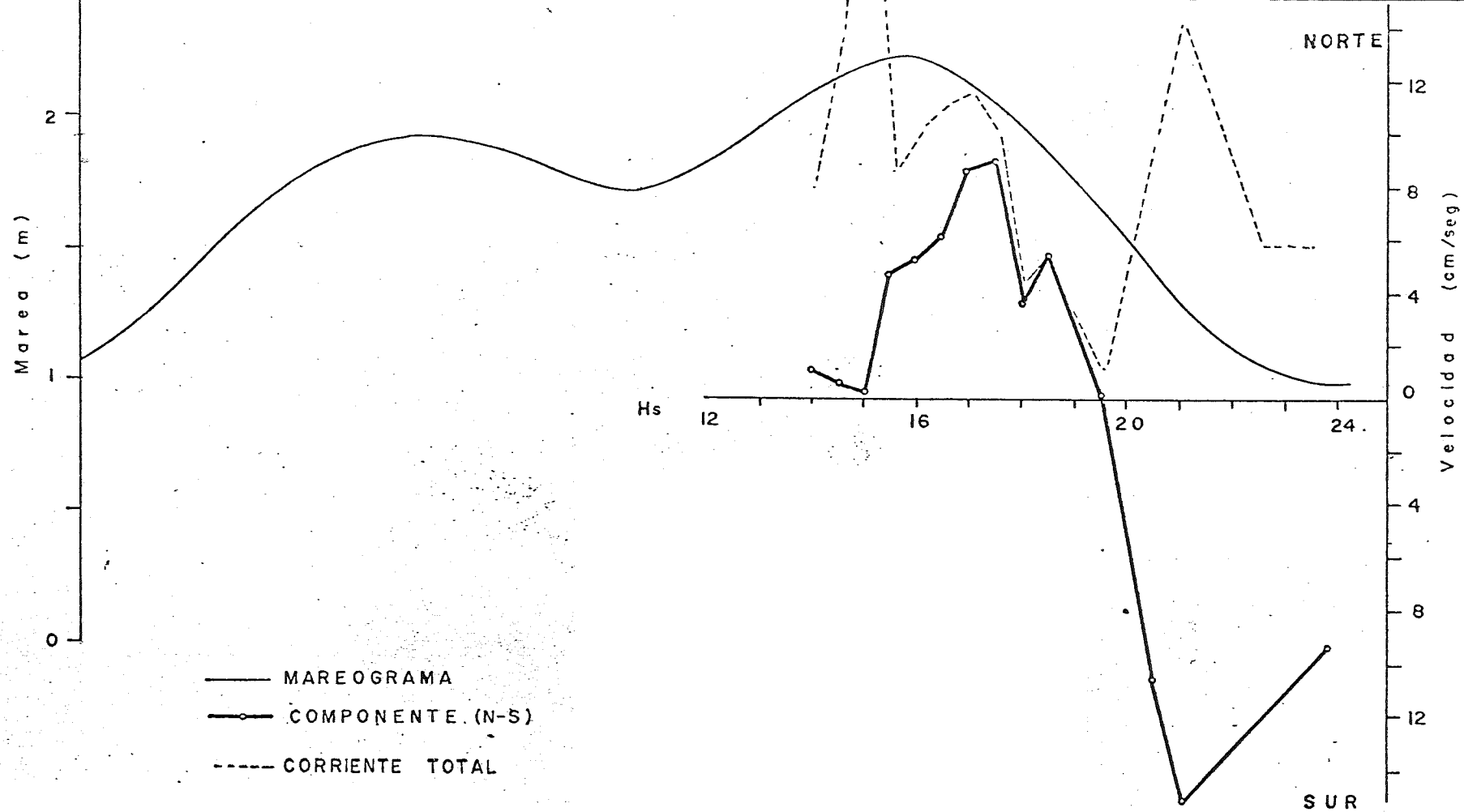


Fig 8 (b).- Velocidad de la corriente y mareograma para la medición OFC-III.

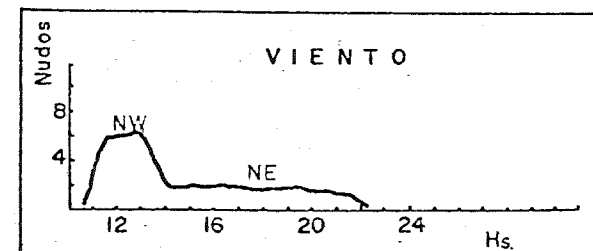
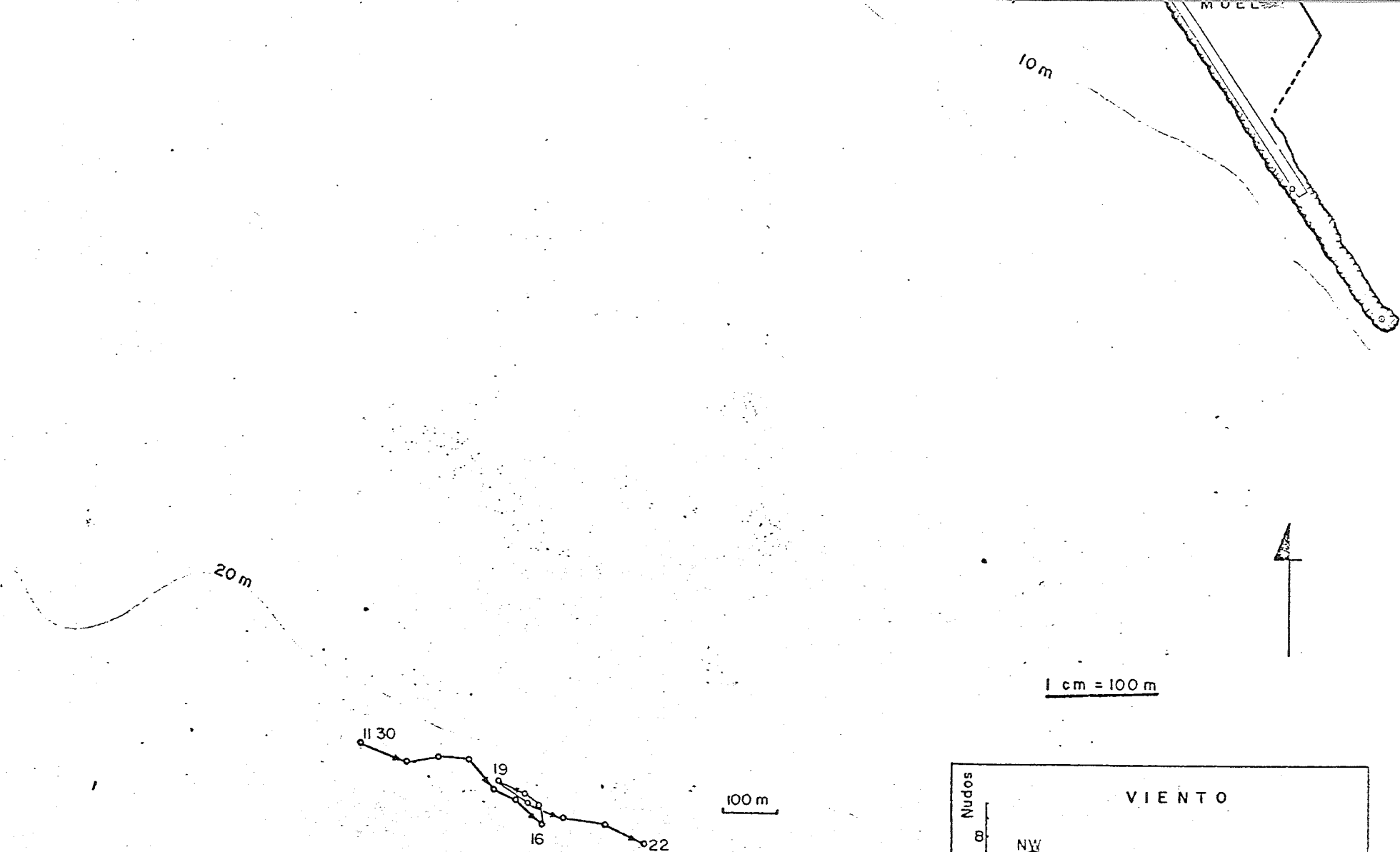


Fig 9 (a).— Trayectoria de la cruz de deriva superficial en la medición OFC-IV (dic. 1970).

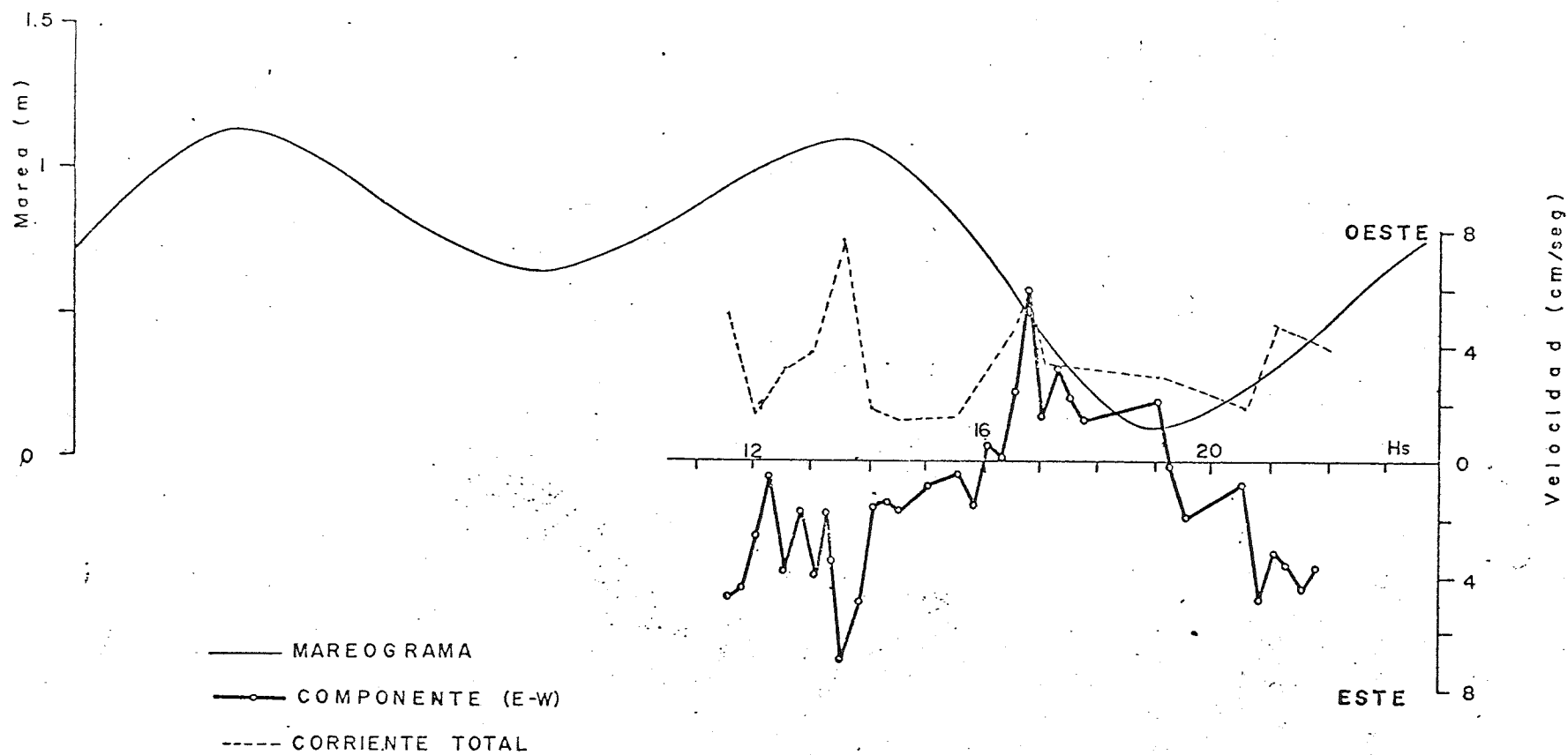


Fig 9 (b).- Velocidad de la corriente y mareograma para la medición OFC-IV.

OFC-II (Sep.4,1970):- Corriente con dirección variable NW inicialmente para cambiar a NE. Las intensidades más frecuentes son de 6 a 8 cm/seg (Fig. 7a, 7b).

OFC-III (Sep.23,1970):- La corriente se mantuvo hacia el WNW por más de cinco horas durante la tarde, cambiando por la noche con flujo hacia el S y SW. La intensidad más frecuente es entre 10 y 14 cm/seg. La componente norte-sur muestra una apreciable relación con el mareograma alcanzándose la máxima intensidad aproximadamente dos horas después de la alta marea (Fig. 8a, 8b).

OFC-IV (Dic. 5, 1970):- El flujo promedio es al SE con intensidades bajas de 3 a 4 cm/seg como más frecuentes y máxima de 7 cm/seg. El flujo presentó una inversión de 180° por cerca de 3.5 horas (Fig. 9a, 9b).

OFC-V (Dic.30,1970):- Se mantuvo una dirección SE por casi 12 horas con disminución gradual de la intensidad que más frecuentemente se presentó con valores de 6 a 8 cm/seg (Fig. 10a, 10b).

OFC-VI (Ene.23,1971):- La trayectoria de los dos flotadores se mantuvo con dirección W excepto por una inversión de 180° que permaneció por cuatro horas. Las intensidades fueron altas en comparación con los casos anteriores y predominan las de 14 a 16 cm/seg. Comparando la componente este-oeste con el mareograma se observa una buena

concordancia entre éste y la variación en la intensidad de la componente. Para este caso se observa que la curva de la componente está dos horas fuera de fase con el mareograma (Fig. 11a, 11b).

OFC-VII (Feb.12,1971):- La corriente se presentó en dirección W y SW por ocho horas para cambiar luego al S y SE. La intensidad más frecuente fué entre 5 y 7 cm/seg en la primera parte de la observación.

En las últimas observaciones se presentaron intensidades de más o menos 12 cm/seg (Fig. 12a, 12b).

OFC-VIII (Jun.24,1971):- Estos datos fueron obtenidos continuamente por 40 horas en la estación A (Fig.5a, 5b) y muestran características que no se presentaron en mediciones anteriores. El diagrama continuo de vectores (Fig 13a) muestra que una partícula bajo la acción de la corriente viajó una distancia de 6 kilómetros en 24 horas pero el desplazamiento resultante es de sólo 1.1 kilómetros. En las 16 horas restantes la distancia recorrida fué de 4 kilómetros con desplazamiento resultante de 1.5 kilómetros con respecto de la posición ocupada a las 24 horas.

En la figura 13b está representado el diagrama de vectores menos el efecto de la marea. La corriente con dirección muy variable acusa un transporte resultante de

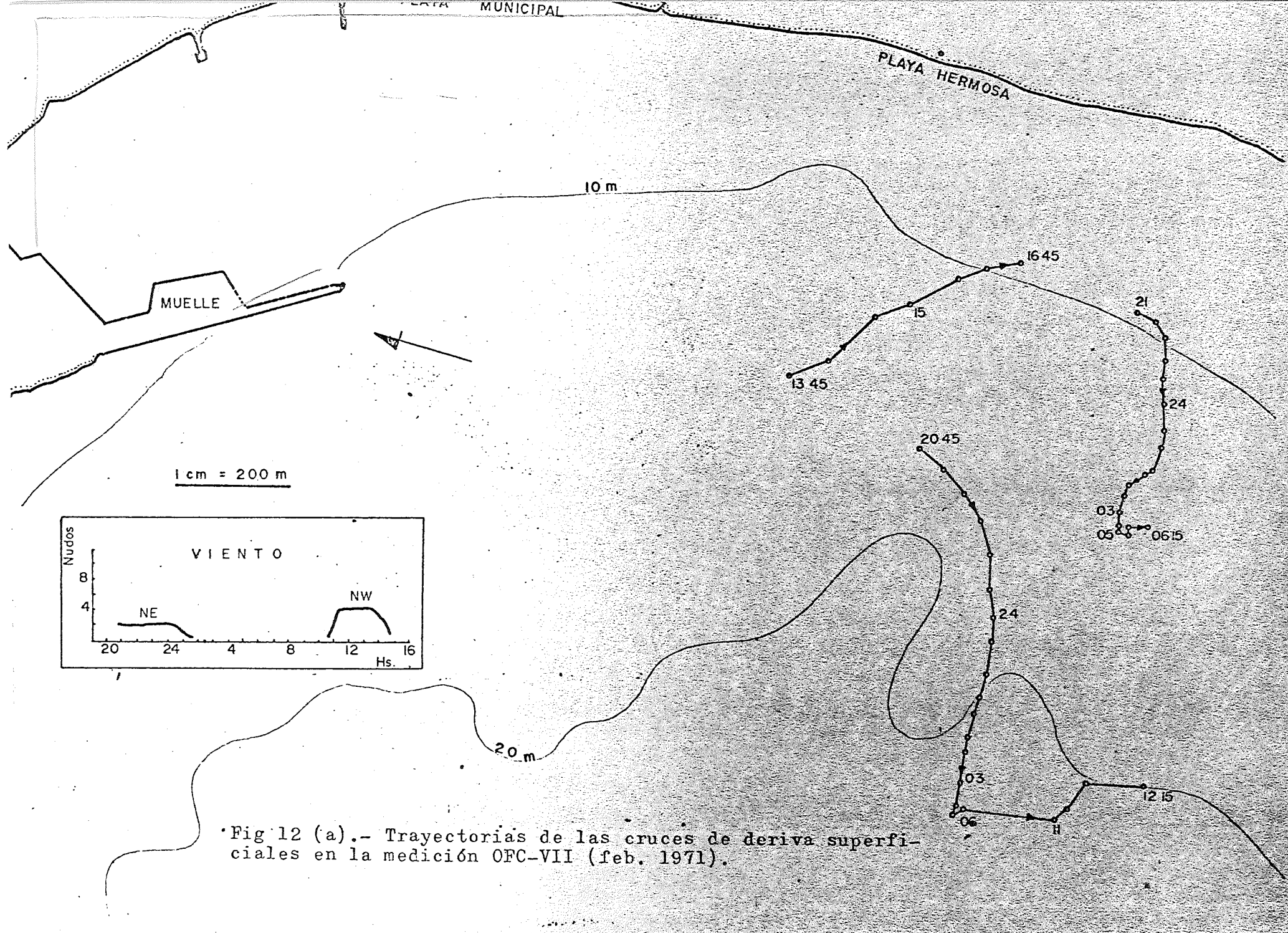


Fig 12 (a).- Trayectorias de las cruces de deriva superficiales en la medición OFC-VII (feb. 1971).

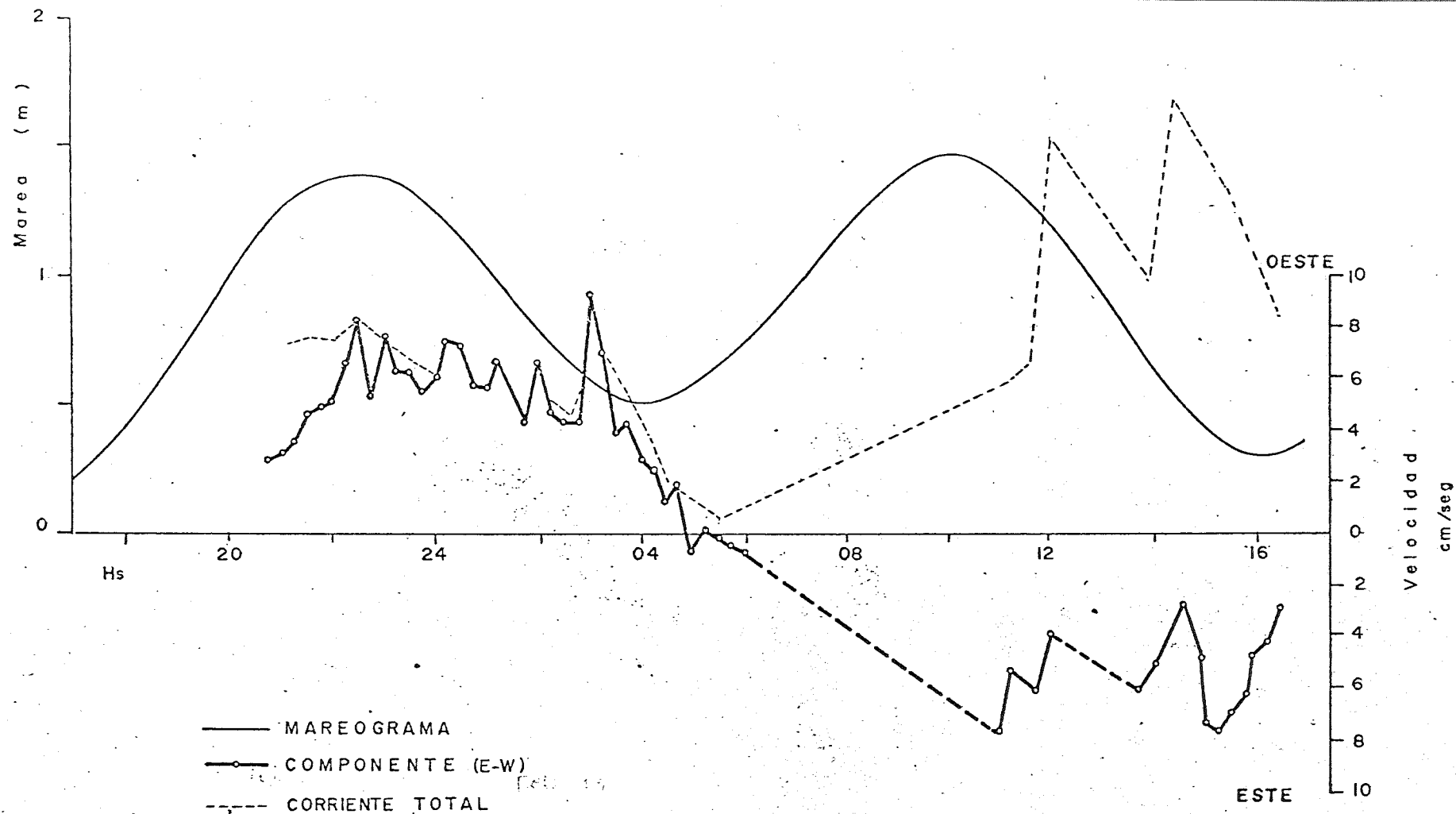


Fig 12 (b).- Velocidad de la corriente y mareograma para la medición OFC-VII.

DIAGRAMA CONTINUO DE VECTORES
MENOS EL EFECTO DE LA MAREA.

OFC-VII (URBC) MISSION 01 24 JUNE 1971

ROMPEOLAS



KILOMETROS

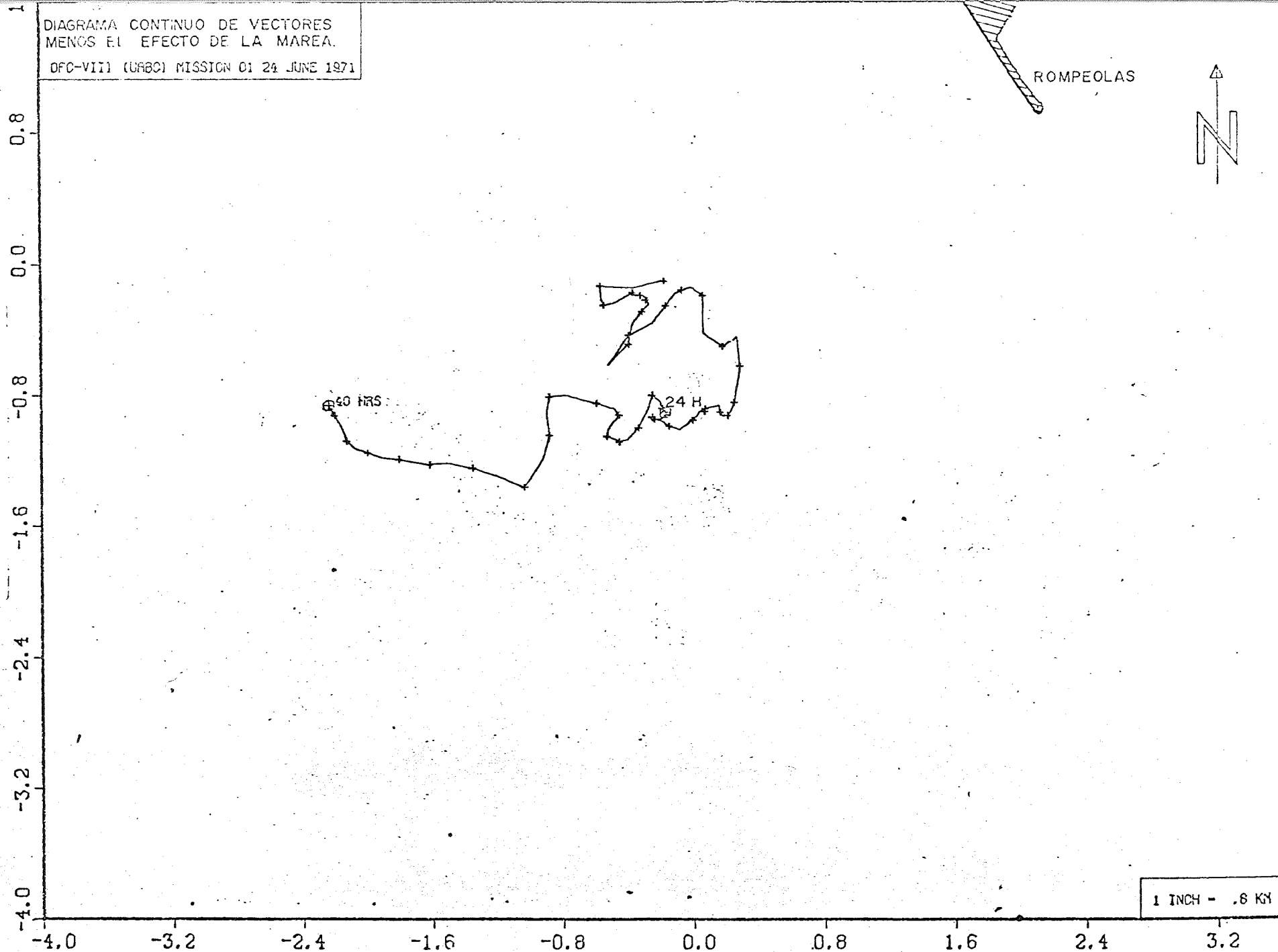


Fig 13 (b).- Diagrama continuo de vectores menos el efecto de la marea para la corriente registrada en el punto A.

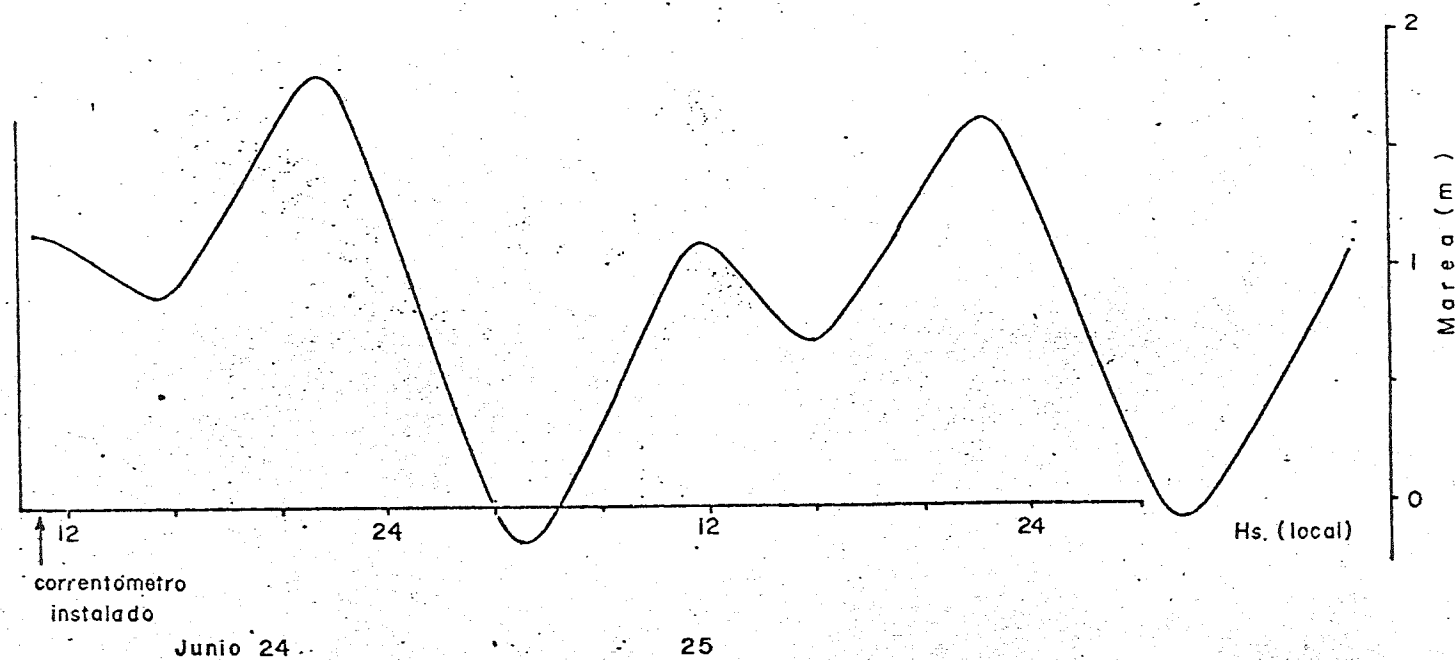


Fig 14.- Mareograma para la medición OFC-VIII (jun. 1971)

018 kilómetros hacia el sur al cabo de 24 horas y de 1.5 kilómetros hacia el oeste al cabo de las 16 horas restantes.

Las velocidades totales medidas tienen magnitudes -- más frecuentes entre 12 y 15 cm/seg, que son ligeramente más altas que las observadas anteriormente con otro método. La corriente en sus componentes U y V (este-oeste y norte-sur) se presentan en la figura 13c, en la forma observada y en la forma calculada con el análisis de periodicidad.

Los datos para esta observación están resumidos en la forma siguiente:

Dirección media : 209.3°
Intensidad media : 1.76 cm/seg.

COMPONENTE DE MAREA

$$V(T) = -1.54 + 5.62 \cos (.262T - -1.40) + 9.16 \cos (.507T + 1.07)$$

$$U(T) = -0.86 + 7.20 \cos (.262T - .089) + 5.74 \cos (.507T + 0.43)$$

OFC-IX:- Las dos mediciones con botellas de deriva efectuadas en la zona A (Fig 1) registraron la corriente en los 15 centímetros superiores, con los resultados que se muestran en la tabla III.

TABLA III

Resultados de las observaciones con botellas de deriva

FECHA	HORA	VIENTO	CORRIENTE
Ago 10	1300	5 a 6 m/seg W-NW	38 cm/seg SE
Ago 14	1300	6 a 7 m/seg W-NW	21 cm/seg SE

En esta región la profundidad es de 15 metros. La corriente cerca del fondo determinada con una cruz de deriva a 12 metros bajo la superficie para el día 14 de agosto fué de 2 cm/seg con dirección sur.

IV.- DISCUSION

Rasgos generales.

En las mediciones con cruz de deriva las observaciones realizadas ponen de manifiesto una variación muy acentuada de la corriente superficial en 24 horas. Esta corriente superficial constituye la corriente integrada en los dos metros superiores y se presentó con intensidades de 0 a 20 cm/seg (o a 0.4 nudos) como se presenta en la tabla IV..

TABLA IV

Frecuencia de intensidades obtenidas
con las cruces de deriva

Intensidades cm/seg	% del total de observaciones.
0 - 4.9	35
5 - 9.9	43
10 - 14.9	14
15 - 19.9	6

El restante 2% comprende intensidades excepcionales hasta de 27 cm/seg.

Como puede apreciarse, las corrientes se presentaron con intensidad baja que en la mayoría de los casos estuvo comprendida entre 1 y 10 cm/seg.

La dirección presentó cambios muy notables durante el tiempo de observación, pero fué común que se mantuviera en una misma dirección por 6, 8 y hasta 12 horas al cabo de las cuales se presentó un cambio muy notorio.

Efecto del viento.

La circulación del aire sobre la superficie del océano da lugar entre otros fenómenos a una corriente de deriva originada por el esfuerzo tangencial que ejerce el viento sobre el mar. Ekman (1905) desarrolló una ecuación citada por Sverdrup (1942) que relaciona el esfuerzo tangencial con la intensidad del viento, considerando la superficie del océano como rugosa.

$$\tau = 2.6 \times 10^{-3} \rho' W^2$$

donde: $\rho' = 1.25 \times 10^{-3}$ = densidad del aire

W = intensidad del viento

τ = esfuerzo tangencial

La ecuación se elaboró para valores de W cercanos a 20 m/seg medidos a 15 metros sobre el nivel del mar.

Rosby (1936) demostró que con valores bajos de W --

(4-6 m/seg) no se cumple esta ecuación debido a que en estas condiciones el océano debe considerarse como superficie lisa. Von Kármán estableció una ecuación para el flujo sobre una superficie lisa, que aplicada al viento sobre la superficie del océano, proporciona valores de τ para diferentes valores de W .

TABLA V

Esfuerzo tangencial τ para superficie rugosa y superficie lisa en función de la intensidad del viento (Sverdrup, 1942).

W en m/seg a 15 m	$\frac{(\text{gm seg}^2)}{\text{cm}}$ superficie lisa	$\frac{(\text{gm seg}^2)}{\text{cm}}$ superficie rugosa
2	0.04	0.11
4	0.16	0.45
6	0.34	1.01
8	0.58	1.81
10		2.83
12		4.09
14		5.56

Sverdrup (1942) da una ecuación desarrollada por Ekman que relaciona el esfuerzo tangencial con la veloci-

dad de la corriente de deriva en la superficie, considerando un océano homogéneo e ilimitado

$$v = \frac{\pi \tau}{\sqrt{2} D \rho \omega \sin \phi}$$

donde:

D: es la profundidad de influencia friccional,

ρ : la densidad del agua,

ω : la velocidad angular de la tierra,

ϕ : la latitud del lugar

en unidades del sistema cgs .

La profundidad de influencia friccional D puede considerarse como el espesor de la capa de mezcla indicada por la profundidad de la termoclina que fué de 10 metros según los batitermogramas obtenidos durante las observaciones y posteriores muestreos (H. Cabrera, 1971). Tomando $\phi = 32^\circ$ resulta la siguiente tabla comparativa entre la intensidad de la corriente de deriva producida por diferentes intensidades del viento considerando la superficie del mar libre y rugosa (Tabla VI).

En la región de la Bahía de Todos Santos, predomina el régimen de Brisas con viento del NW con intensidad promedio de 4 m/seg (Boria Albin, 1943).

El 80% de las observaciones diarias durante 11 años indican viento proveniente del segundo cuadrante, espe---

cialmente en los meses cálidos del año. De septiembre a febrero se presenta una mayor diversificación de la dirección (E, NE, SW) con intensidades moderadas (8 a 10 m/seg) especialmente los vientos del este y NE que se caracterizan por su poca humedad y altas intensidades (hasta 20 m/seg) que persisten durante el día y la noche por dos o tres días (Alvarez, 1970).

TABLA VI

Velocidad de la corriente de deriva para diferentes intensidades del viento.

W (m/seg)	V (cm/seg)	
	superficie lisa	superficie rugosa
2	2.2	6.1
4	8.8	24.7
6	18.7	55.5
8	32.0	100.0
10		156.0
12		225.0
14		305.0

Con base en los datos anteriores, es más común encontrar intensidades entre 4 y 6 m/seg provenientes del W y NW durante la mayor parte del año. Esto debe producir una

corriente de deriva hacia el interior de la Bahía, paralela a la costa en la región A y directamente hacia la costa en la región B (Fig. 1).

Las gráficas de la corriente de deriva en función de la intensidad del viento, con base a la ecuación desarrollada por Ekman (Fig.), dan una idea de las magnitudes de la corriente que pueden presentarse en el océano abierto y no pueden considerarse como el modelo de la circulación de deriva en la Bahía de Todos Santos, debido a la influencia de la escasa profundidad, la costa y el carácter no persistente del viento.

En las mediciones directas de la corriente de deriva se observa que la intensidad de la primera observación resultó mayor que la segunda (Tabla III), aunque la intensidad del viento fué menor. Esto puede deberse a un error de localización o bien a la influencia de una corriente subsuperficial que se sumó a la de deriva y que quedó sin ser determinada.

Hay una ligera concordancia con los resultados obtenidos por el Instituto de Investigaciones Oceanológicas en la medición de corrientes en la región próxima al rompeolas del puerto, que fué de 37 cm/seg SE.

También se aproximan a los datos obtenidos de las ecuaciones para una superficie lisa si consideramos condiciones de transición donde la intensidad del viento du-

rante las mediciones es la crítica señalada para conside
tar lisa o rugosa la superficie del océano (7 m/seg, se
gún Munk, 1947) y también el hecho de tratarse de aguas
confinadas en una bahía. (Sin embargo, el flujo al SE que
da bien determinado en los 15 centímetros superiores, --
cuando se establece el viento del W o NW.

El transporte de agua superficial en la dirección -
SE también ha sido observado en la zona B y debe presen-
tarse en la mayor parte de la Bahía. No se cuenta con ob
servaciones en la zona C (Fig. 1).

Por la configuración de la Bahía de Todos Santos el
transporte de agua superficial por efecto del viento es
siempre hacia el interior y debe ser compensado por un -
transporte hacia el exterior de la Bahía que queda por -
ser determinado en caso de ser factibles de medir.

Durante las observaciones con las cruces de deriva
en los 2 metros superiores, hubo casos en que la corrien
te se presentó en sentido opuesto al viento (Figs. 7a y
8a). Para la medición OFC-VI la corriente presentó altas
intensidades y fué opuesta al viento excepto por tres --
horas en que se invirtió el sentido (Fig. 11a) precisa--
mente cuando el viento tuvo sus intensidades máximas de
9 y 10 nudos (5 m/seg).

Estos hechos indican que el viento dominante tiene efecto sólo sobre una capa superficial de espesor reducido donde se produce una corriente de deriva apreciable que se reduce considerablemente al sumarse con la corriente en lo que resta de los dos metros superiores.

En la última observación citada (OFC-VI) es posible que la alta intensidad del viento haya influenciado la circulación en los primeros dos metros. La figura 11b presenta una relación muy notoria entre la componente este y el mareograma, índice de que la corriente estuvo afectada por el flujo y reflujo de la marea, Esto favorece lo antes establecido de que el viento afecta únicamente una capa superficial que en los 15 centímetros superiores tiene una velocidad en dirección similar a la del viento y con magnitudes altas en relación a las corrientes producidas por otros factores.

De la medición OFC-I se observa que la cruz de deriva superficial que integra la corriente en 1.2 metros (Fig. 6a) desarrolló una trayectoria más extensa que el flotador libre con paracaídas a 7 metros de profundidad (Fig. 6b) aunque ambas presentan direcciones semejantes en general. Las magnitudes de las componentes este, difieren notablemente, siendo de 21.5 cm/seg para la cruz de deriva y 13.9 para el paracaídas. El viento de 4 a 5

m/seg, NW que se presentó durante la tarde pudo haber --
afectado la corriente en este caso, con mayor influencia
sobre el flotador más superficial.

En cambio en la medición OFC-VIII no se manifiesta
la influencia del viento sobre la corriente a 1.5 metros
de profundidad. El diagrama progresivo de vectores (Fig.
13a) no manifiesta tendencia al flujo en la dirección --
del viento cuando este se estableció con las caracterís-
ticas del dominante (4 m/seg NW). Lo mismo se aprecia en
el diagrama progresivo de vectores sin el efecto de la --
marea, donde el flujo resultante es casi opuesto al vien-
to (Fig. 13b).

Influencia de la marea y corriente Residual.

Las observaciones comprenden intervalos de tiempo --
muy cortos para obtener datos cuantitativos confiables --
sobre el efecto de marea. La información obtenida a par-
tir de las observaciones OFC-I a OFC-VII es por tiempo --
apenas suficiente para cubrir un período de las mareas --
semidiurnas. Según los datos de la Tabla II, correspon-
dientes a la observación OFC I, los períodos de varia- --
ción de la corriente tienen valores distintos y muy des-
viados de la periodicidad semidiurna de 12 horas.

De OFC-II a OFC-VII se observan diversos grados de

concordancia entre la componente y el mareograma respectivo. Las intensidades máximas se observan desfasadas -- con la máxima altura de la marea por 2 ó 3 horas aunque no todas llevan el mismo sentido de flujo. La medición -- OPC-VI es la representativa de este tipo de variación, -- posiblemente debido a que el rango de la marea en ese -- día fué de casi dos metros, mientras que en otros casos fué menor. La curva que representa la componente E-W está retrasada por dos horas aproximadamente respecto del mareograma.

Con base al hecho establecido de que en una corriente producida únicamente por la marea, una partícula de agua transportada por la corriente vuelve al mismo punto después de completado un período de oscilación de la marea, (Thorade 1936-8) se deduce que las corrientes medidas por el método de las trayectorias acusan una marcada influencia de una circulación sobrepuesta a la de marea. Esta circulación produce un desplazamiento a las partículas, evitando que vuelvan al mismo punto una vez completado el período.

Las trayectorias no llegaron a cubrir períodos de 24 horas para poder estimar la corriente residual que se suma a la de mareas pero las mediciones que comprenden más de 15 horas manifiestan su influencia con mayor o me

nor intensidad. La trayectoria de la figura 11a acusa un mayor transporte en 16 horas, que la de la figura 12a.

Con la observación continua de 40 horas se logró obtener un ciclo completo de corrientes de marea con el método Euleriano. Un hecho notable es que en este caso aparecen las componentes de la corriente con una marcada variación de periodicidad semidiurna. Se puede observar -- comparando estas componentes con la corriente total, que la corriente de marea calculada es la predominante (Fig. 13c). El residuo, después de eliminar la componente de marea, se presenta como la corriente residual o básica, -- en el diagrama progresivo de vectores, asumiendo que la influencia del viento fué despreciable a la profundidad en que se hizo la observación (Fig. 13b). La magnitud de esta corriente es muy baja comparada con las magnitudes que alcanza la componente de marea, que tiene amplitudes de 5.62 cm/seg y 9.16 cm/seg de las dos armónicas combinadas para la componente norte y 7.20 cm/seg y 5.74 cm/seg para la componente este.

Esta corriente residual resultante fué hacia el -- sur, con magnitud de 0.9 cm/seg en las primeras 24 horas y 2.6 cm/seg hacia el oeste en las 16 horas siguientes.

Las curvas calculadas para las componentes de la co

rrientes presentan una clara periodicidad semidiurna y con desigualdad diurna muy marcada, semejante a la que existe en las mareas de esta región. Sin embargo, comparando la curva de las componentes con la curva del mareograma (Fig. 14) se observa un desfase muy marcado.

Una causa importante de la irregularidad de las corrientes de marea puede ser la desigualdad diurna que no permite una entrada y salida regular de agua en la Bahía, considerando además que las condiciones geográficas no hacen de ésta una bahía bien protegida. Existen dos entradas una de las cuales es muy amplia, de tal manera que el flujo y reflujo se efectúa a través de las dos bocas, que presentan características muy diferentes en su sección batimétrica.

Considerando una región costera pequeña como la Bahía de Todos Santos, se puede considerar la marea como una onda estacionaria (Sverdrup 1942) y su relación con la corriente producida por el aumento y disminución del nivel del mar puede estimarse aproximadamente considerando esta oscilación estacionaria en una cuenca rectangular con profundidad constante (Sverdrup 1942) despreciando los efectos de fricción.

La ecuación para una onda estacionaria citada por -

Sverdrup (1942) es:

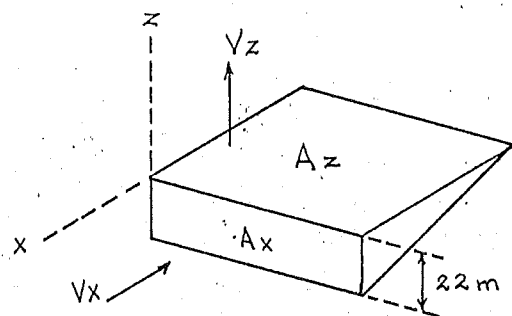
$$\eta = \eta(x) \cos \sigma t$$

donde η es el desplazamiento vertical de la superficie del mar.

σ es la velocidad angular = $\frac{2\pi}{T}$

t es el tiempo y

T es el período de oscilación



Tomando la región este de la Bahía y considerando el flujo horizontal en dirección X a través de una sección a lo largo de la isobata de 22 metros, se presentan las características siguientes según el diagrama anterior:

A_x : área de la sección a lo largo de la isobata de 22 metros normal a la velocidad horizontal.

A_z : área de la Bahía entre la isobata de 22 metros y la costa.

η : desplazamiento de la superficie del mar en dirección Z.

Vz: velocidad de desplazamiento de la superficie en dirección Z.

Vx: velocidad de desplazamiento de la superficie en dirección x.

El área de la parte de la Bahía al este de la isobata mencionada es de 56.7 Km^2 . El estero de Punta Banda tiene áreas entre 2.6 y 10.7 Km^2 de donde tomamos como promedio 6.5 Km^2 .

Az resulta igual a 63.3 Km^2 .

Ax es aproximadamente 0.315 Km^2 si se considera la profundidad constante e igual a 22 metros.

La velocidad horizontal a través de la sección Ax está dada por:

$$V_x = \frac{A_z}{A_x} V_z$$

Si en la ecuación de la onda estacionaria se considera que η no es función de x por ser un espacio muy reducido comparado con la longitud de la marea, tenemos:

$$\eta = \eta_0 \cos \frac{2\pi}{T} t$$

y la velocidad instantánea Vz está expresado por:

$$V_z = \frac{d\eta}{dt} = -\frac{2\pi}{T} \eta_0 \sin \frac{2\pi}{T} t$$

y la velocidad V_x en función del tiempo es:

$$V_x = - \frac{A_z}{A_x} \eta \cdot \frac{2\pi}{T} \sin \frac{2\pi}{T} t$$

considerando una marea con rango de 200 cm y tomando el período de 12 horas de las mareas semidiurnas:

$$V_x = - 201 (200) \frac{\pi}{6} \sin \frac{\pi}{6} t$$

Para $t = 3$ horas, V_x tiene un valor máximo de 5.8 cm/seg. Con esta ecuación se obtienen valores bajos en relación con los del correntómetro en el punto A. La gráfica de V_x en función del tiempo está 3 horas fuera de fase respecto del mareograma que representa los valores de η . Lo anterior indica que la máxima intensidad de la corriente de marea se presenta 3 horas después de la alta o bajamar y será nula en marea alta y en marea baja como se ha demostrado para las corrientes de marea en lugares confinados de área reducida y que tienen comunicación con el mar abierto por una boca estrecha. (Sverdrup 1942).

Existe la posibilidad de que el correntómetro haya registrado la intensidad de la corriente con un error positivo, es decir, registró intensidades un poco mas altas que la reales debido a los siguientes factores que deben tomarse en cuenta:

a) El correntómetro graficador con rotor de Savonius fué diseñado inicialmente para hacer mediciones de corrien -

tes subsuperficiales en aguas profundas y fué la primera vez que se instaló en aguas poco profundas y a 1.5 metros ^{2.0} bajo la superficie.

b) El rotor de Savonius registra la corriente en una capa de unos cuantos centímetros de espesor a esa profundidad mientras que los flotadores libres integran la corriente en una capa de 1.2 a 2.0 metros de espesor.

c) El correntómetro estuvo fijo y bajo la influencia del movimiento oscilatorio de las partículas de agua, producido por el oleaje. Este hecho ocasiona que el rotor registre un exceso en la intensidad de la corriente porque aunque el movimiento de las partículas de agua es en dos sentidos opuestos y el desplazamiento neto es muy pequeño, el rotor de Savonius gira en un sólo sentido, registrando esas velocidades con signo positivo.

La dirección medida presenta oscilaciones de cortoperíodo posiblemente debidas al oleaje pero la dirección predominante de la corriente se puede reconocer fácilmente (Fig. 17).

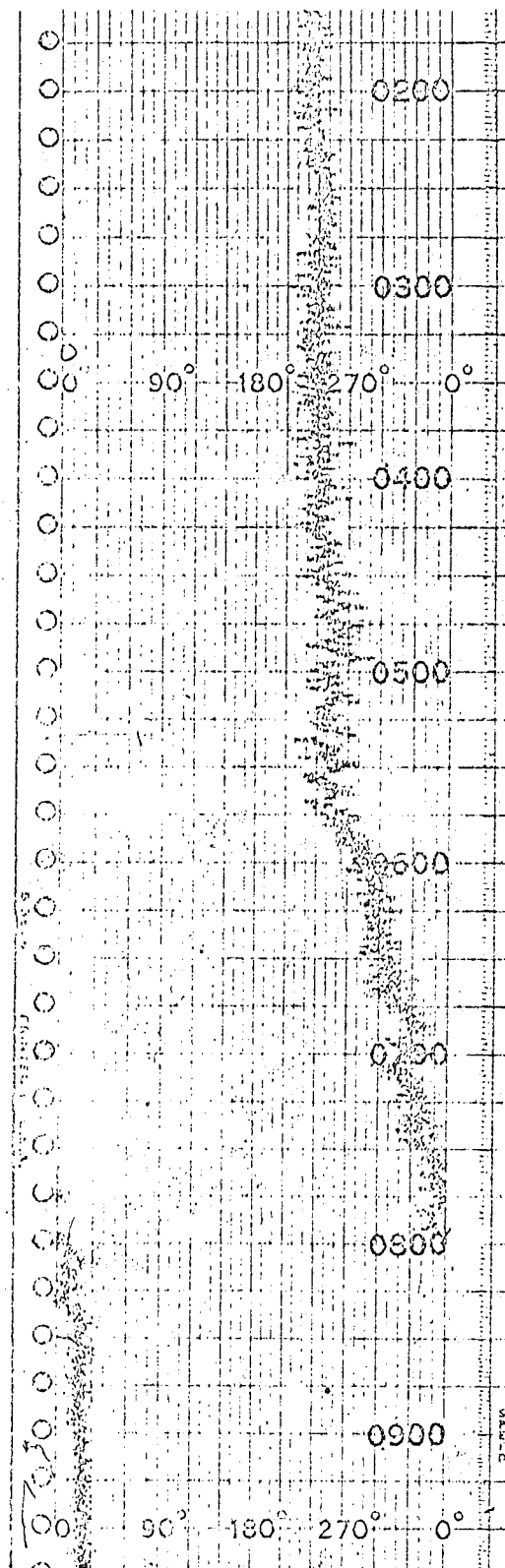


Fig. 17.- Parte de la gráfica de intensidad y dirección de la corriente obtenida con un correntómetro en el punto A.

V.- CONCLUSIONES

1).- La corriente de deriva en las aguas superficiales se presentó en la dirección del viento, con intensidades cercanas a 30 cm/seg en los 15 centímetros superiores, con viento de 6 a 7 m/seg .

2).- Considerando los datos de viento para la Bahía de Todos Santos, la mayor parte del año se presentará un transporte de agua superficial hacia el interior de la Bahía cuando se establece el viento dominante.

3).- En las observaciones efectuadas, la corriente producida por el viento estuvo restringida a una capa superficial y no afectó notablemente la corriente a 2 metros de profundidad.

4).- La dirección del flujo fué muy variable para la corriente integrada en los 2 metros superiores, con cierta tendencia a ser paralela a la costa en la zona A. Durante las observaciones hechas con flotadores libres, la componente E - W dominó sobre la componente N - S.

5).- En general, la magnitud de la corriente integrada en los 2 metros superiores fué mas frecuentemente entre 6 y 8 cm/seg .

6).- Las observaciones continuas durante 40 horas - muestran una variación semidiurna muy acentuada.

7).- El efecto de la marea es notable, aunque no se llegó a estimar cuantitativamente debido al corto tiempo de observación. Las consideraciones teóricas muy simplificadas proporcionan intensidades cercanas a 6 cm/seg para el flujo a través de una sección sobre la isobata de -22 metros, originado por una marea con rango de 2 metros. Esta corriente es sólo la mitad de la registrada durante la observación de 40 horas.

8).- La corriente básica o residual pudo determinarse en la observación de 40 horas y presentó intensidades muy bajas cercanas a 2 cm/seg. En otras observaciones -- hay evidencia de esta corriente con intensidad y dirección muy variable. No fue posible establecer una relación con los datos sobre corrientes fuera de la Bahía,

9).- En la zona A se presentaron altas intensidades de la corriente en la mayoría de los casos y cambios en la dirección que ponen de manifiesto un intercambio activo con aguas de otras regiones de la Bahía y con aguas oceánicas del exterior.

B I B L I O G R A F I A

- ALVAREZ, L. G. - Vientos en la Bahía de Todos Santos, B.C.
1970 Instituto de Investigaciones Oceanológicas.
Univ. Aut. de Baja California.
(No publicado)
- BENSON, Richard H. - Ecology of Recent Ostracodes of the
1959 Todos Santos Bay Region, Baja California, Mexico.
The University of Kansas Paleontological Contributions. "Artropoda", Article 1. July 20.
- Estudio Oceanológico de la Bahía de Todos Santos. Parte I.
1967 Trabajo presentado en el III Congreso Nacional
de Oceanografía. México.
Escuela Superior de Ciencias Marinas,
Instituto de Investigaciones Oceanológicas.
Univ. Aut. de Baja California. Ensenada.
- HUBBS, Carl L. and Laura C. Hubbs.- Shoreline Surface Water
1948- Temperatures Data Between La Joya California, and
1962 Punta Baja, Baja California.
Scripps Inst. of Oceanography.
Data Report. SIO Ref. 61 - 14.
- GALLAGHER, Brent, James Larsen, R. Lecuanda, R. Cabrera,
1965 J. L. Granados y K. Nishikawa. - Medición de -
Corrientes producidas por Mareas en el Puerto
de Ensenada, Baja California.
Trabajo presentado al II Congreso Nacional de -
Oceanografía. México. (No Publicado).

- KNAUS, J. A. - Drogues and Neutral-Buoyant Floats.
1963 The Sea. Ideas and Observations on Progress in -
the Study of the Seas.
M. N. Hill Edit. Vol. 2.
- MUNK, Walter H. - A Critical Wind Speed for Air-Sea Boundary.
1947 Proceses.
Scripps Inst. of Oceanography. Contr. 349.
- O'BRIEN M. P. y L. Zeevaert. - Design of a Small Tidal Inlet.
1968 Proceedings of the Eleventh Conference on Coastal
Engineering. London, England.
- Planeación del Puerto de Ensenada, Baja California.
1952 Clark y Mansilla S. A. de C. V. (No Publicado)
- REID, Joseph L. - Measurements of the California Counter -
1962 current at a Depth of 250 Meters.
Jour. Mar. Research. Vol. 20, Núm. 2 .
- REID, Joseph L. and Richard A. Schwartzlose. - Direct Mea-
1962 surements of the Davidson Current off Central -
California.
Jour. Geophysical Res. Vol 67, Núm. 4 .
- REID, Joseph L., R. A. Schwartzlose and D. M. Brown.- Direct
1963 Measurements of a Small Surface Eddy off Northern
Baja California.
Jour. Mar. Research. Vol. 21, Núm. 9
- SCHWARTZLOSE, R. A. - Nearshore Currents of the Western Uni-
1962 ted States and Baja California as Measured by -
Drift Bottles.
CalCOFI Reports, Vol. IX: (1960-1962).
- SHEPARD, F. P. - Submarine Geology. (Texto).
1963 Harper and Row, Publishers, New York.

- STEVENSON, M. R., June G. Patullo and Bruce Wyatt. -
1969 Subsurface Currents Off Oregon Coast as Measured
by Parachute Drogues.
Deep Sea Research. Vol. 16.
- SVERDRUP, H.U., Martin W. Johnson and Richard H. Fleming. -
1942 The Oceans. Their Physics, Chemistry and General
Biology. (Texts)
Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, N. J.
- THORADE, Herman. - Methods Used in the Study of Ocean Cu -
1933 rrents. (Traducción al Inglés de G. F. Mc Ewen)
Handbuch der Biologischen Arbeitsmethoden, -
Berlin.
- WALTON, William R. - Ecology of Living Benthonic Foramini-
1955 fera, Todos Santos Bay, Baja California.
Scripps Inst. of Oceanography Contr. 814
- WIEGEL, R. L. and J. W. Johnson. - Ocean Currents, Measure
1959 ments of Currents, and Analysis of Data.
First International Conference on Waste Disposal
in the Marine Environment. Proceedings.
A. Pearson, Edit. Pergamon Press. New York.
- WYATT, Bruce M, M. R. Stevenson, W. Gilbert and J.G. Patullo
1967 - Measurements of Subsurface Currents Off the -
Oregon Coast made by Tracking of Parachute Dro-
gues.
Oregon State Univ. Data Rep. Núm. 26., Ref. 67-20
- WYLLIE, John G. - Geostrophic Flow of the California Current
1966 at the Surface and at 200 Meters.
CalCOFI Atlas Núm. 4. Diciembre

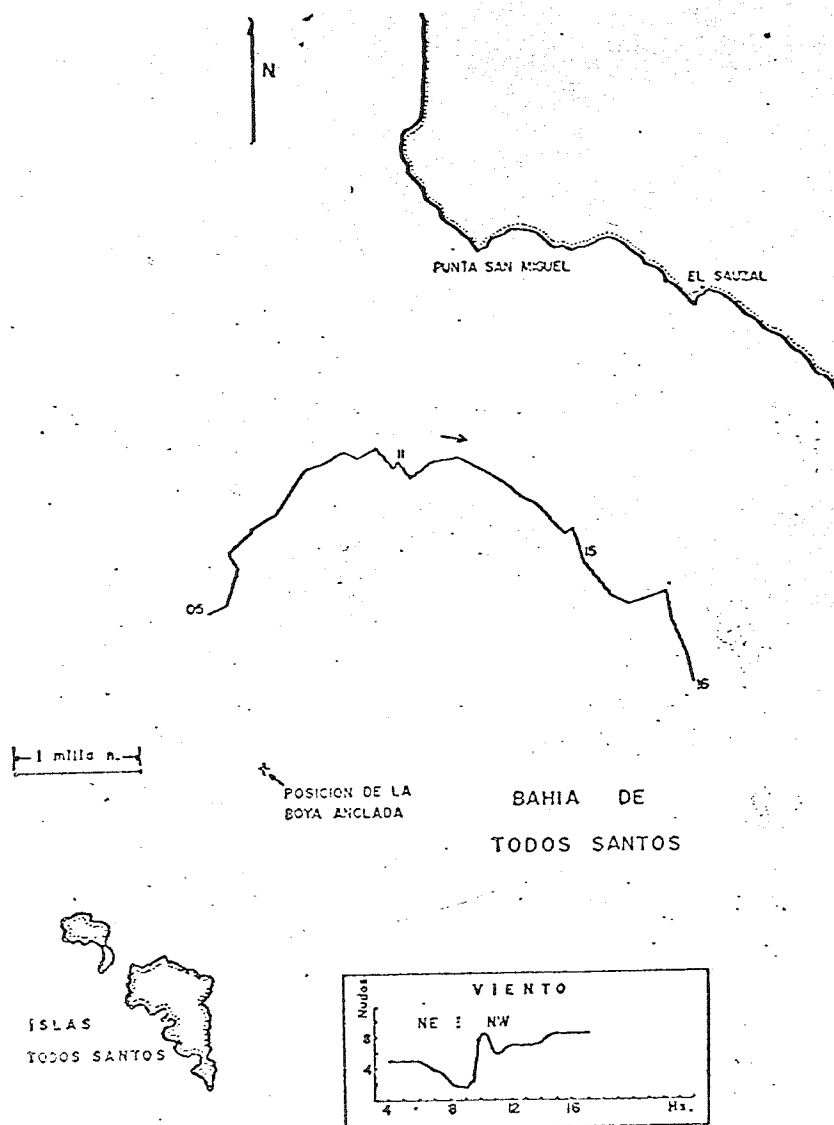


Fig 6 (a).- Trayectoria de la cruz de deriva superficial en la medición OFC-I (abr. 1970). La hora local se anota en los puntos correspondientes de la trayectoria.

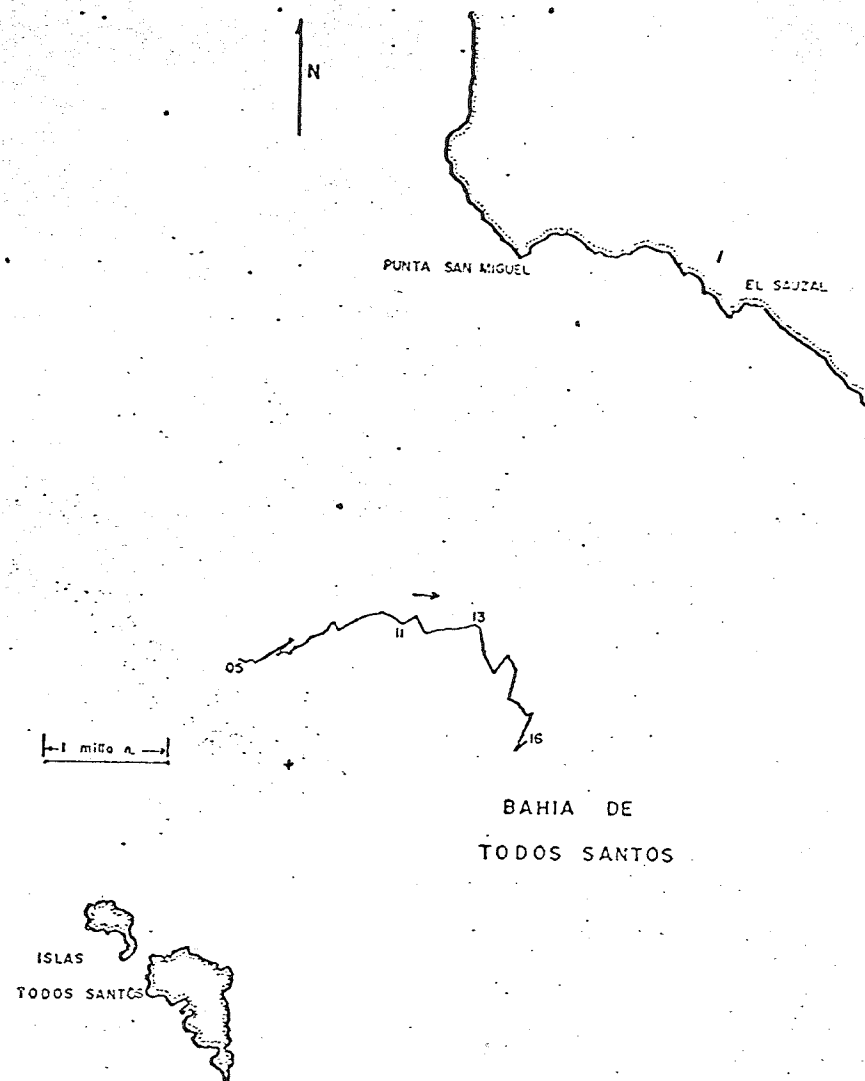


Fig 6 (b).- Trayectoria del flotador con paracaídas superficial en la medición OFC-I (abr. 1970). Hora local y sentido de flujo indicados.

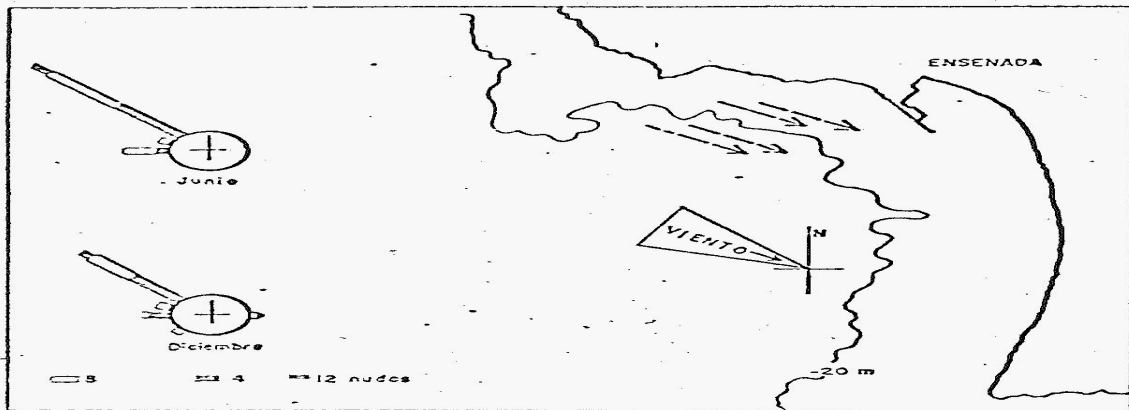


Fig. 15.- Corriente de deriva en la zona A ----- para la medición OFC-IX (ago. 1971).

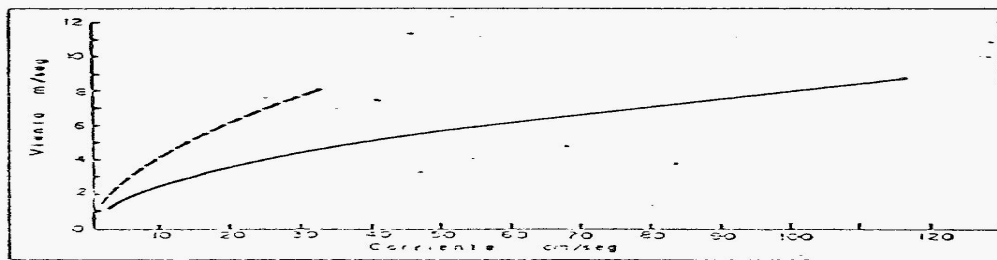


Fig. 16.- Corriente de deriva en función de la velocidad del viento sobre una superficie lisa ----- y sobre una superficie rugosa - - - - -.

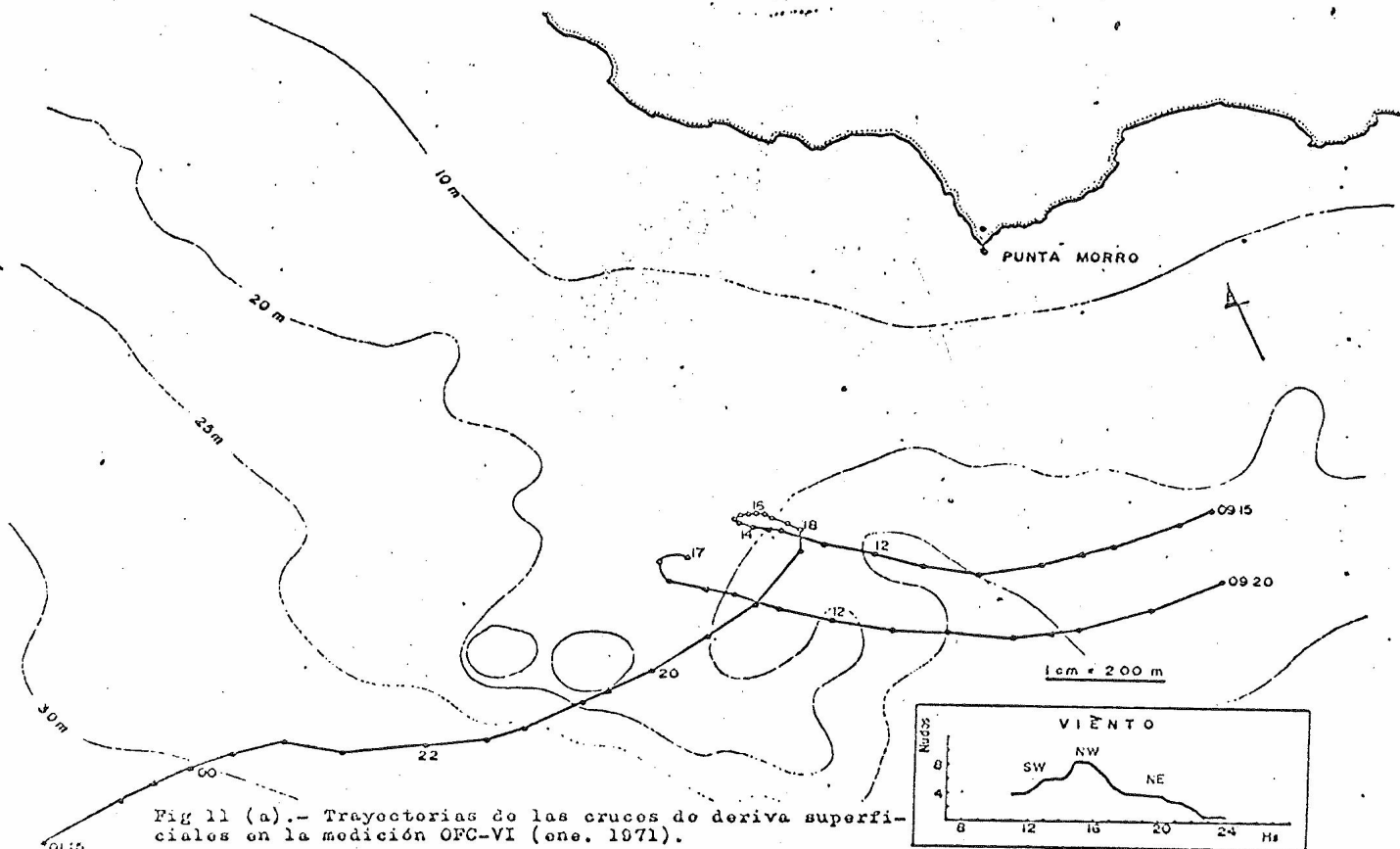


Fig 11 (a).- Trayectorias de las cruces de deriva superficiales en la medición OFC-VI (ene. 1971).

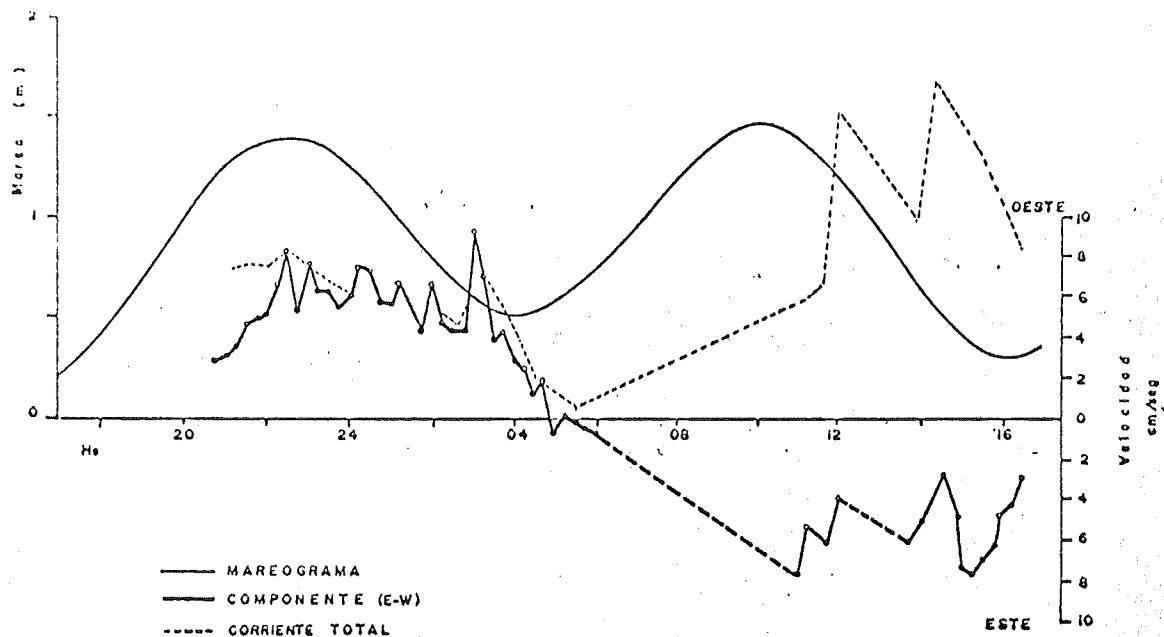


Fig 12 (b).- Velocidad de la corriente y mareograma para la medición OPC-VII.

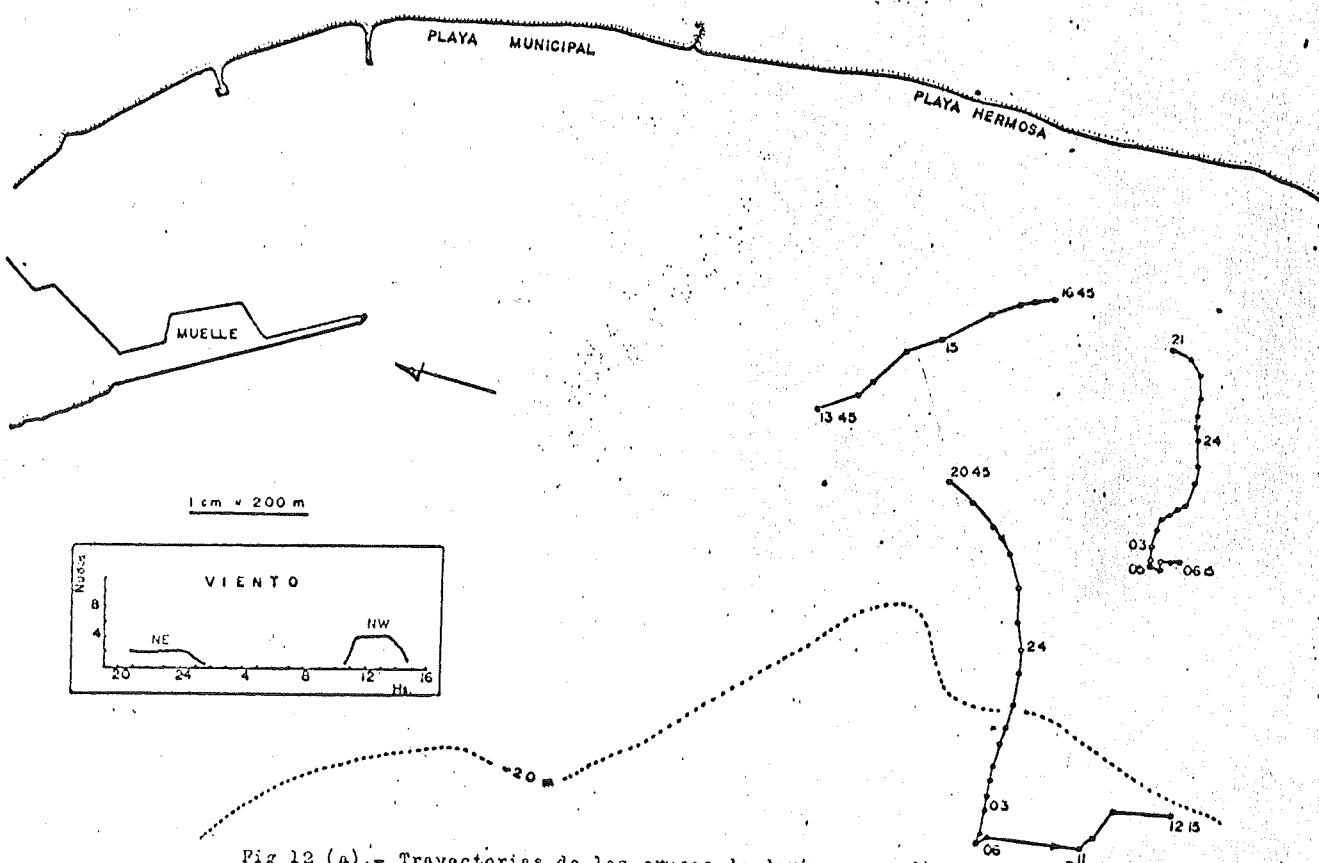


Fig 12 (a).- Trayectorias de las cruces de deriva superficiales en la medición OPC-VII (feb. 1971).

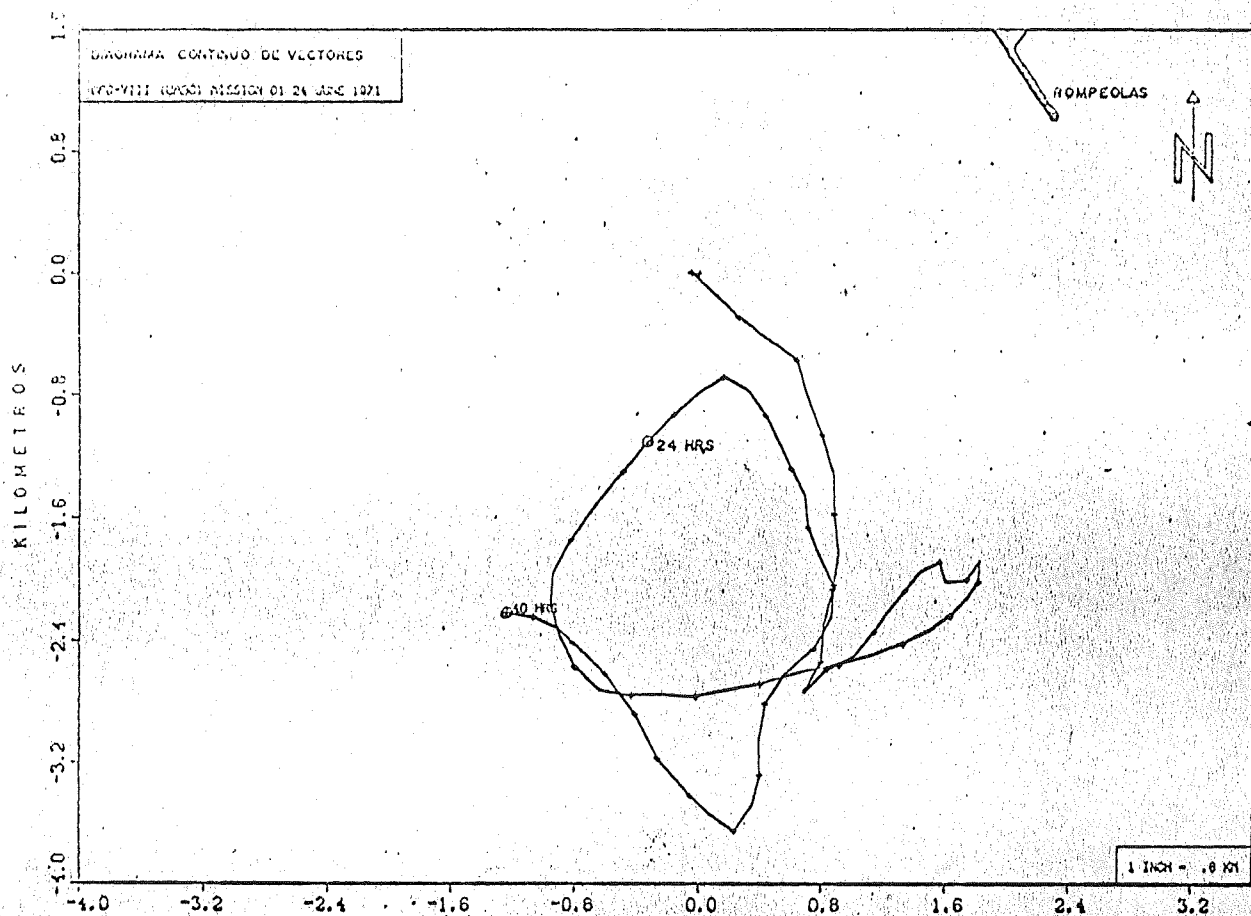


Fig 13 (a).-- Diagrama continuo de vectores de la corriente registrada en el punto A.

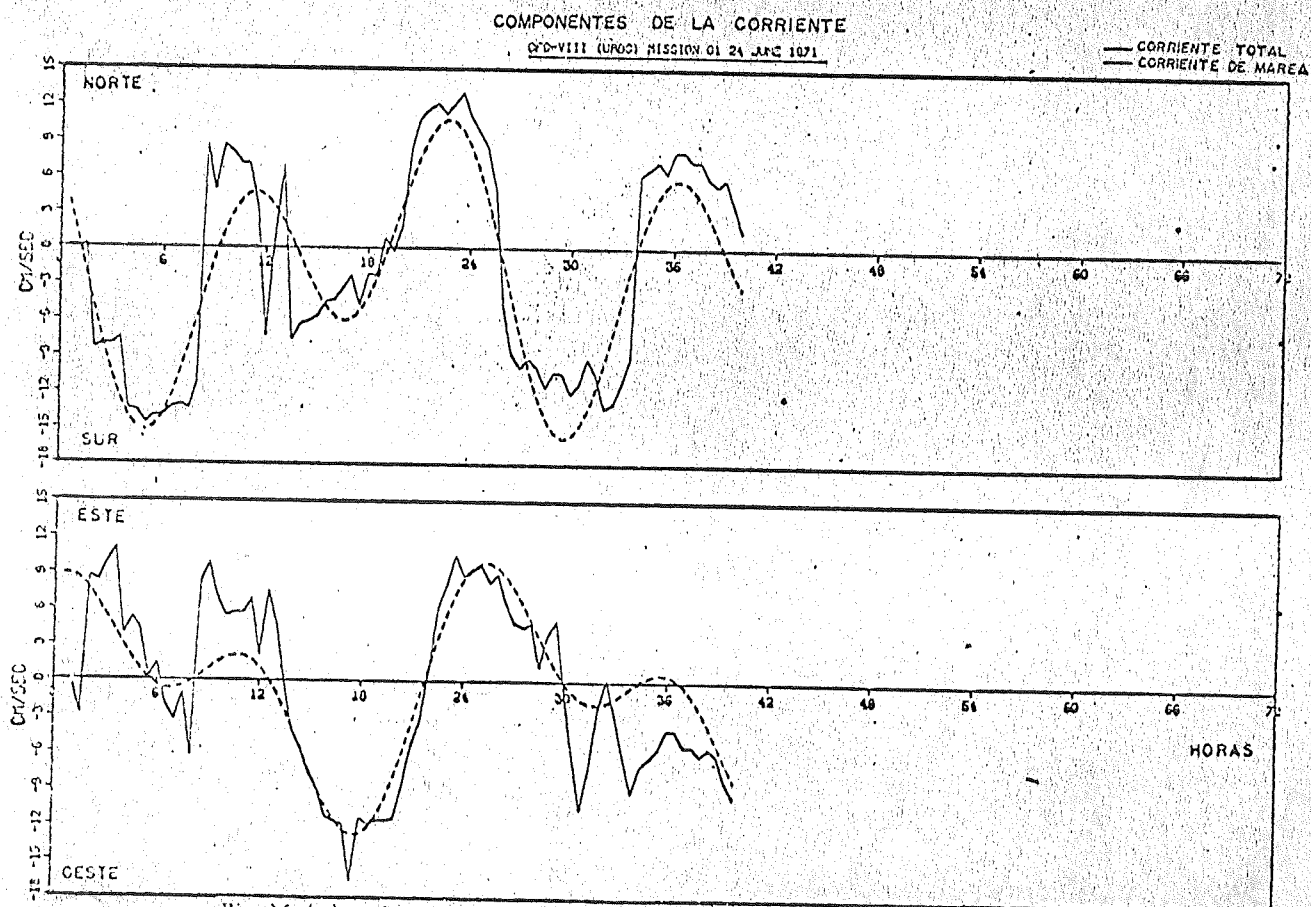


Fig 13 (c).-- Componentes de la corriente registrada en el punto A.

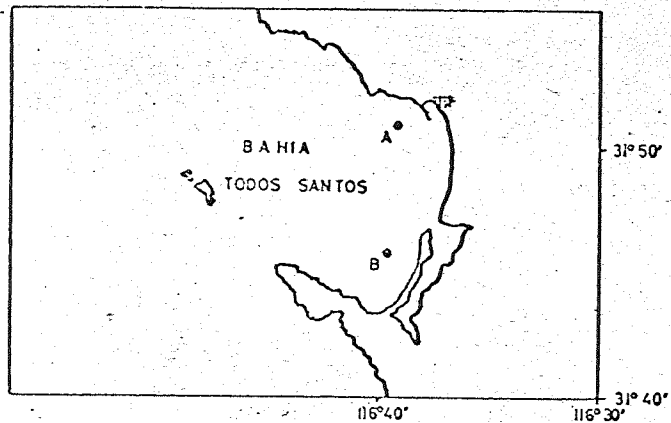


Fig 5 (a).- Estaciones de correntómetros A y B.

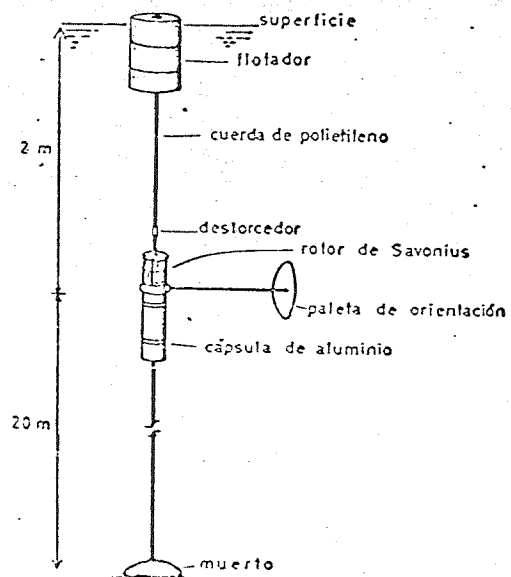


Fig 5 (b).- Instalación de un correntómetro en el mar.

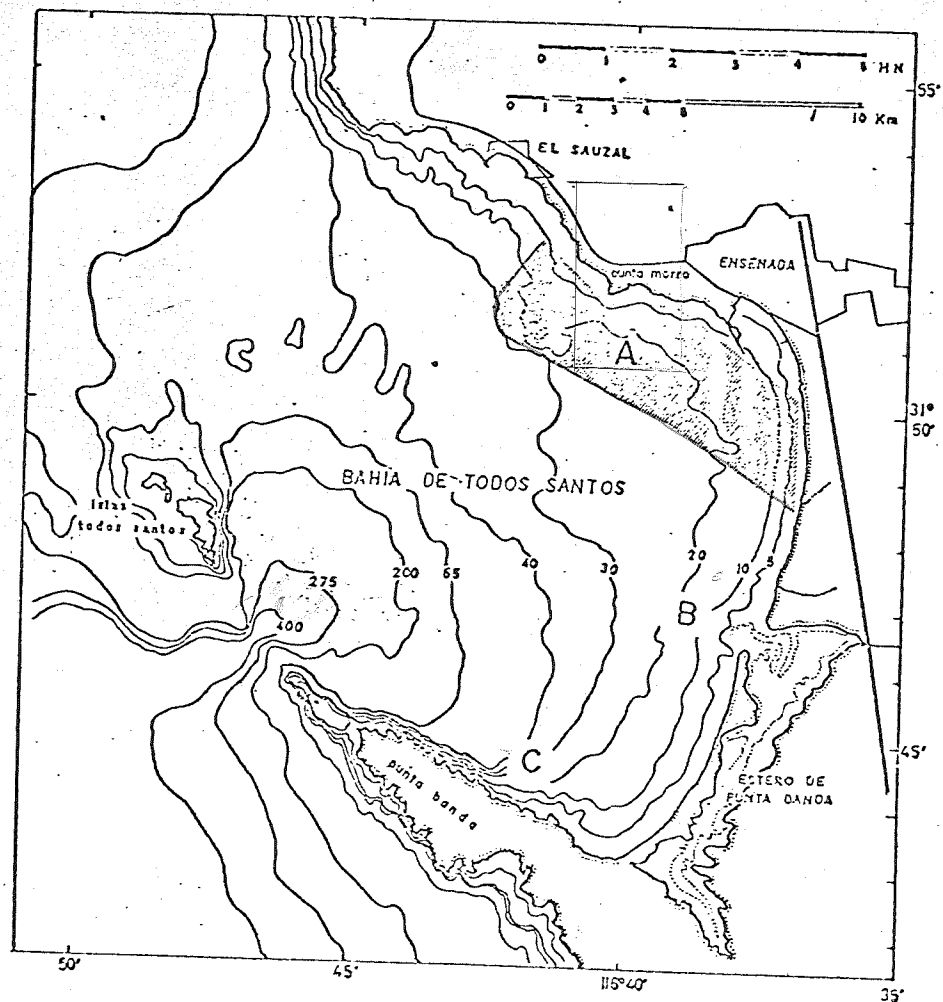


Fig 1.- Bahía de Todos Santos con las zonas de estudio indicadas (A, B, C). Isobatas en metros.

