

ANÁLISIS DE VIENTOS, CORRIENTES Y NIVEL DEL MAR EN
UNA ZONA DE SURGENCIAS CERCA DE PUNTA COLONET

CENTRO DE INVESTIGACION CIENTIFICA Y DE EDUCACION SUPERIOR DE ENSENADA

DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA

ANALISIS DE VIENTOS, CORRIENTES Y NIVEL DEL MAR EN UNA ZONA DE
SURGENCIAS CERCA DE PUNTA COLONET

TESIS

Que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el
grado de MAESTRO EN CIENCIAS presenta:

ALBERTO AMADOR BUENROSTRO

Ensenada, Baja California, México. 1978.

Manuscrito

BIBLIOTECA
CICESE

(Tesis Maestría)

955

ANALISIS DE VIENTOS, CORRIENTES Y NIVEL DEL MAR EN UNA
ZONA DE SURGENCIAS CERCA DE PUNTA COLONET.

	Página
INTRODUCCION	1
METODOS	8
RESULTADOS Y DISCUSION	14
Vientos, Aspectos Generales	14
El Sistema de Brisas	15
Comparación entre los Indices de Surgencia de Cartas Meteorológicas y los Indices de Vientos Locales.	17
Corrientes, Aspectos Generales	18
Análisis de las Variaciones Diurnas y Semidiur nas de las Corrientes.	20
Correlación entre el Nivel del Mar y Viento	23
Escalas de Tiempo en la Variación de la Surgen cia para la Zona de Punta Colonet.	26
CONCLUSIONES	28
BIBLIOGRAFIA	30

© 1978



INTRODUCCION

El viento es uno de los factores más importantes en la di námica de las capas superficiales del océano. Está probado -- que la circulación oceánica de las capas superficiales es impul sada por el viento, ya sea en forma directa por arrastre o en forma indirecta por reestructuración de los campos de densidad (Sverdrup et al, 1942). Estas dos formas de acción del viento sobre el océano son las que originan los mayores sistemas de - corrientes superficiales oceánicas. El viento también es el - agente causal de las surgencias, las cuales son movimientos de ascenso de aguas subsuperficiales a las capas superficiales del océano. Al ascender estas aguas traen consigo las caracterís- ticas propias de aguas más profundas, como son bajas temperatu- ras, mayor densidad y en general mayor contenido de nutrientes y menor contenido de oxígeno disuelto. Desde varios siglos -- atrás las surgencias han sido conspicuas debido a la presencia de bajas temperaturas, pero no fue sino hasta el siglo pasado cuando se empezó a pensar que estas aguas frías provenían de - capas subsuperficiales del océano. Anteriormente se pensaba - que eran producto de transporte de agua por corrientes desde - latitudes altas.

La relación entre el viento y las surgencias fue prima ria mente establecida por Witte (1880, de Smith, 1968). Witte asu me que una surgencia puede ser originada por el efecto de la ro tación de la tierra en una corriente meridional o bien por el efecto friccional del viento sobre la superficie del mar cuando este sopla mar adentro. Las bases teóricas para el entendi miento de las surgencias son puestas hasta comienzos del pre-- sente siglo por Ekman (1905, de Smith, 1968). La teoría de Ek man establece que en un océano homogéneo e infinito con condi- ciones de movimiento estacionario, sobre el cual está soplando un viento uniforme, hay un transporte neto de masa, el cual es dirigido 90° hacia la derecha de la dirección en que está so-- plando el viento si es en el hemisferio norte. El caso se in- vierte si se encuentra en el hemisferio sur, o sea que el trans porte es hacia la izquierda de la dirección del viento. Este

transporte de masa varía directamente con la magnitud de la fuerza friccional del viento e inversamente con el parámetro de Coriolis. La aplicación de la teoría de Ekman a las surgencias fué realizada por primera vez por Thorade (1909, de Smith, 1968) haciendo una explicación de la surgencia en la costa del Pacífico de los Estados Unidos. El mostró que la surgencia era una consecuencia directa del viento soplando hacia el ecuador paralelo a la costa, el cual sería suficiente para provocar un transporte de agua superficial hacia afuera de la costa, la que sería sustituida por agua de capas más profundas.

Mediciones más directas de la relación del viento con la surgencia fueron primeramente realizadas por Sverdrup (1937), el cual hace una interpretación dinámica y conceptual de la surgencia costera en California. Además hace una evaluación del transporte horizontal y vertical mediante mediciones sucesivas de parámetros conservativos del agua del mar. Los resultados del transporte medido directamente por desplazamiento de isolíneas concordó razonablemente con el transporte teórico según las bases de Ekman.

Los estudios teóricos y prácticos se han incrementado grandemente en los últimos años. Entre los más importantes experimentos están los de CUEA (Coastal Upwelling Ecosystem Analysis) y CINECA (Cooperative Investigations of the North East Central Atlantic), alrededor de los cuales se han hecho los estudios de mayor trascendencia en los conocimientos de las surgencias durante la última década.

En los estudios físicos se ha hecho énfasis en las relaciones entre varios fenómenos, como son vientos, corrientes, niveles del mar y estructura de la distribución de densidad. Al analizar la variabilidad de estos fenómenos se han encontrado escalas de tiempo características de variación de la surgencia. Una es anual, en la cual la surgencia es más activa o solamente se presenta durante una estación de 3 a 4 meses en el lapso de un año. La otra escala de tiempo característica, es del orden de 3 a 10 días y se le llama "evento," y es una presentación

o una intensificación de la surgencia por un corto tiempo.

La relación entre el viento y la corriente se ha analizado en las costas de Oregon, encontrándose coeficientes de correlación altos entre la componente del viento a lo largo de la costa y la componente de la corriente en esa misma dirección sobre la plataforma continental (Smith, 1974). También en otros estudios realizados en Oregon, siempre se ha visto una correlación significativa entre el viento y las corrientes (Huyer et al, 1974). En las costas del noroeste de Africa, la correlación entre estas dos series es también significativa - - - (Mittelstaed y Kolterman, 1973), aunque esto solo sucede sobre la plataforma continental, ya que según estos autores, la circulación afuera de la plataforma esta gobernada por las variaciones de posición e intensidad que presenta un giro permanente que existe en el área. En las costas del Perú, donde se conocen las surgencias de mayor importancia se ha visto que en la capa superficial (entre 10 y 25 m de profundidad) la relación entre el viento y la corriente es buena (Enfield, 1970). Abajo de esa profundidad se observó que no había relación aparente entre el viento y las corrientes (Smith et al, 1971). Las correlaciones entre el viento y el nivel del mar en zonas de surgencias sólo han sido estudiadas ampliamente en las costas de Oregon. Estas correlaciones han sido tan significantes mayores de .61 como las de viento y corrientes (Smith, 1974). Respecto a estas dos variables, hasta la fecha no se conoce -- con seguridad, como se comportan en otra zona geográfica de surgencia. La relación entre el nivel del mar y las corrientes es mayor que las anteriores, ya que los valores encontrados de correlación en las costas de Oregon son en general mayores de 0.8 (Smith, 1974). Este hecho es entendible, ya que se ha encontrado que la variación de los perfiles de corrientes a lo largo de la costa, es altamente barotrópica y que corresponde en gran parte a la variación de la inclinación de la superficie del océano, evidenciada por el nivel del mar en la costa.

Las corrientes en zonas de surgencia, han sido descritas

por varios autores (Wooster & Reid, 1963; Smith, 1968, 1974; Johnson et al, 1975; Mittelstaed y Kolterman, 1973), para diferentes áreas y aunque difieren en pequeños rasgos, conservan todas ellas caracteres comunes que se consideran ya como propias de las corrientes en zonas de surgencia. Estos rasgos comunes son: una fuerte corriente hacia el ecuador, paralela a la costa en las capas superficiales; un núcleo de altas velocidades a cierta distancia de la costa; una contracorriente subsuperficial la cual asciende y se intensifica cuando la surgencia es más débil y desciende y se debilita cuando la surgencia es más fuerte. En las zonas de surgencia más estudiadas siempre se han encontrado estas características asociadas con el fenómeno. Las variaciones de la corriente hacia el ecuador, a lo largo de la costa parece deberse principalmente a cambios en la inclinación de la superficie del océano en la dirección normal a la costa. Es por eso su gran correlación con el nivel del mar (Smith, 1974). Las corrientes normales a la costa son en general hacia la costa en las capas inferiores sobre la plataforma continental y hacia afuera en las capas superficiales (Smith, 1974; Halpern, 1977; Huyer, 1976).

La transmisión de la energía del viento a las capas superiores del océano no está completamente definida. Aplicando la teoría de Ekman, Sverdrup et al (1942) obtienen una proporción entre la velocidad de la corriente inducida por el viento y el viento mismo. Con esta aplicación Sverdrup encontró que es variable según el coeficiente de arrastre que se aplique, y según la intensidad del viento, pero que siempre es del orden de centésimos. Esto da corrientes directas inducidas por el viento, realmente bajas, pues para un viento muy fuerte, del orden de 20 m/seg, el orden de la corriente sería cercano a los 20 cm/seg. La corriente más fuerte que produce el viento es de tipo indirecto, provocada por los cambios de estructura en la densidad.

La transmisión de energía del viento a las corrientes en bajas frecuencias (.6 cpd) ha sido observada claramente en -

algunas zonas de surgencia. En Oregon la correlación entre -- los dos fenómenos es alta (Smith, 1974). Lo mismo ocurre en el Noroeste de Africa sobre la plataforma continental (Mittelstaed y Kolterman, 1975). La transmisión de energía en frecuencias -- más altas (.6 cpd) no ha sido aún bien evidenciada, pero algunos autores estiman que esta transmisión debe afectar también a las corrientes. Shaffer (1972) trabajando con el modelo de Hidaka (1954, de Shaffer, 1972) encontró por simple continuidad que el tiempo de respuesta en una zona de surgencias debe de -- ser del orden de varias horas en base al tiempo de respuesta -- del transporte de Ekman. Esto hace suponer que variaciones del viento de alta frecuencia, como diurnas y semidiurnas podrían contribuir con energía al sistema de surgencia. Esta contribu-- ción parece ser real, ya que Shaffer (1972) estudió los efectos de las brisas diurnas en la mezcla de las capas superficiales, pudiendo predecir los mínimos de temperatura, provocados por -- esa mezcla. Halpern (1977) relaciona las fluctuaciones de co-- rriente y temperatura en los 15 metros superficiales con el -- sistema de brisas en las costas del NW de Africa durante la -- época de surgencias.

El estudio de las zonas de surgencia es muy importante, -- ya que los efectos que causa en el medio ambiente son de impac-- to directo para las comunidades humanas. Entre los efectos -- principales tenemos la fertilización de las capas superiores -- del océano con aguas subsuperficiales ricas en nutrientes. Es-- tos nutrientes vienen de capas donde no llega la luz y por lo -- tanto no pueden ser aprovechadas por el fitoplancton, pero al -- ascender a la zona fótica por medio de una surgencia, vienen a -- enriquecer el área, provocando una gran productividad. Esta -- productividad se hace patente en el hecho que más del 50% de la -- pesca del mundo proviene de las zonas de surgencias las cuales -- ocupan menos del 0.1% de la superficie total del océano (Ryhter, -- 1969). Otro efecto importante de las surgencias es su influen-- cia en el clima, pues la presencia de aguas frías en la costa -- durante la época de surgencias, origina veranos menos tibios y

tardíos, por ejemplo, en las costas de Baja California. También la presencia de aguas frías genera un mayor gradiente de temperatura entre mar y tierra incrementando las brisas marinas, las cuales son un rasgo característico de las zonas de surgencias.

En las costas de Baja California se pueden presentar eventos de surgencia durante casi todo el año, aunque con mayor intensidad en primavera y verano (Bakun y Nelson, 1975). Asimismo las aguas frías superficiales absorben calor del aire circundante, provocando la formación de nieblas que es otra característica de áreas de surgencia (Smith, 1968).

Hasta la fecha, se han realizado algunos trabajos que contribuyen al conocimiento de las surgencias en Baja California, unos de ellos de gran escala, y otros muy zonales. Entre estos trabajos están los realizados por CALCOFI que ha analizado por años en grande escala parámetros hidrológicos y corrientes geostróficas en las costas de California y Baja California. Bakun (1973, 1975) hace una contribución muy importante al computar índices diarios de surgencia para cada 3 grados de latitud desde Cabo San Lucas hasta Alaska. Estos índices fueron obtenidos a partir de las distribuciones de presión de las cartas meteorológicas y están calculados desde 1946 hasta la fecha. Los índices muestran a Baja California como una zona donde las surgencias se presentan durante todo el año, con valores máximos en mayo y junio, y con mínimos en diciembre y enero. Hubbs (1968) midió temperaturas mensuales durante 14 años en diferentes puntos de la costa, y puso en evidencia zonas de temperaturas más bajas durante el verano, las que atribuyó a surgencias. Roden (1972) utilizando la computación del esfuerzo del viento a partir de las líneas isobaras proporciona una distribución espacial y estacional de las surgencias costeras en Baja California. También han hecho trabajos en estas costas, en relación a las surgencias, (Walsh et al 1974) con una descripción del ecosistema de surgencias en Punta San Hipólito, Stevenson (1974) analiza en forma lagrangiana las corrientes en esa misma zona,

Dawson (1951) describe comunidades de algas en B. C., asociadas con zonas de surgencia, además Cota (1971), Chávez (1975) y Amador (1975) hacen análisis físicos o químicos de condiciones de surgencia en la costa cercana a Bahía de Todos Santos. De los trabajos antes mencionados se puede decir que o eran de poca magnitud, locales e incompletos o muy grandes, de poca de finición y por lo tanto también incompletos para entender completamente un fenómeno que tiene gran variabilidad espacial y temporal de corto período.

En este estudio se propone estudiar en un área pequeña de la plataforma continental las variaciones de corrientes, temperaturas, vientos y nivel del mar con el fin de analizar la variabilidad de corto período de estos parámetros en esta zona de surgencia. Entre los objetivos más importantes de este estudio se pueden enumerar los siguientes: a) comparar las variaciones del viento con las variaciones del nivel del mar y las variaciones de corto período de corriente y temperaturas en las capas superficiales; b) analizar en forma particular el sistema de brisas de la región y ver su comportamiento en dos alturas características (10 y 2 m); c) ver la dependencia de las brisas con la variación de los vientos a lo largo de la costa; d) analizar la confiabilidad de los índices de surgencia de cartas meteorológicas calculados para esta zona, haciendo comparaciones con índices obtenidos de mediciones de vientos directos; e) investigar el comportamiento de las corrientes con profundidad durante 55 horas de medición sobre la plataforma continental y tratar de establecer su relación con otros fenómenos, como mareas, viento, período inercial y mareas internas.

MÉTODOS

Las surgencias en Baja California varían anualmente teniendo un máximo entre los meses de mayo y junio. Por esta razón se planeó realizar este estudio en el mes de junio de 1976, para obtener resultados típicos de época de surgencia. Se eligió una zona donde la batimetría fuera simple y paralela a la costa y en donde hubiera acceso por tierra para instalar en un lugar despejado de promontorios grandes y cercano a la playa un anemógrafo para la obtención de vientos (Fig. 1). En dos ocasiones se cubrió la red de estaciones que se muestra en la figura 2 y la línea C de este arreglo se muestreo 11 veces para formar una serie de tiempo de la distribución de parámetros normal a la costa. Los datos hidrográficos son analizados en detalle - por Argote (1978). Simultáneamente al muestreo hidrológico, se tomaron perfiles de corrientes durante 55 horas en un punto a 6 km de la costa y datos de viento a 10 y 2 metros de altura en un lugar cercano a la costa (Fig. 2). Para complementar este estudio, se obtuvieron del Instituto de Geofísica de la UNAM, los datos del nivel del mar de Ensenada para el año de 1976 y los índices de surgencia calculados de cartas meteorológicas desde 1974 hasta la fecha, (Bakun, comunicación personal). Además de lo anterior también se cuenta con temperaturas costeras diarias en 3 lugares diferentes dentro del área de muestreo (Fig. 2) y con los valores de presión atmosférica diaria para Ensenada por todo el año de 1976.

VIENTOS.- Se tomaron datos de vientos con un anemógrafo que se encontraba a 10 metros de altura en un lugar cercano a la playa y lejos de promontorios que pudieran afectar el viento de las capas más bajas de la atmósfera. Al anemógrafo era de registro continuo, pero solo muestreaba durante 5 minutos de cada hora, quedando el promedio como dato representativo de la hora en que se tomó la muestra. Esta forma de muestreo pudiera dar datos que no fueran realmente representativos de cada hora. Para corroborar el muestreo, las primeras 3 horas fueron de registro continuo, obteniéndose promedios muy similares a -

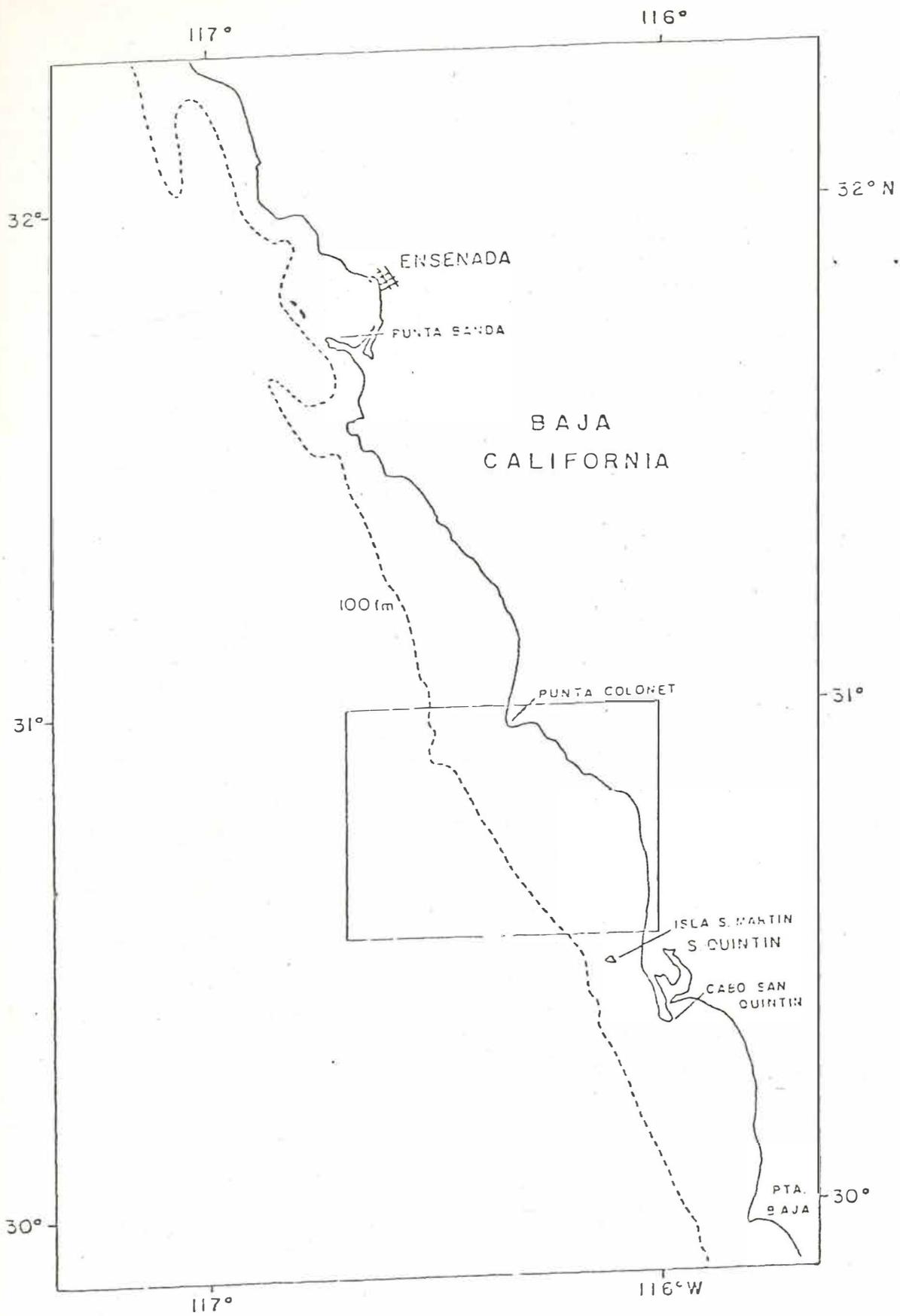


Fig. 1. Localización del área de estudio.

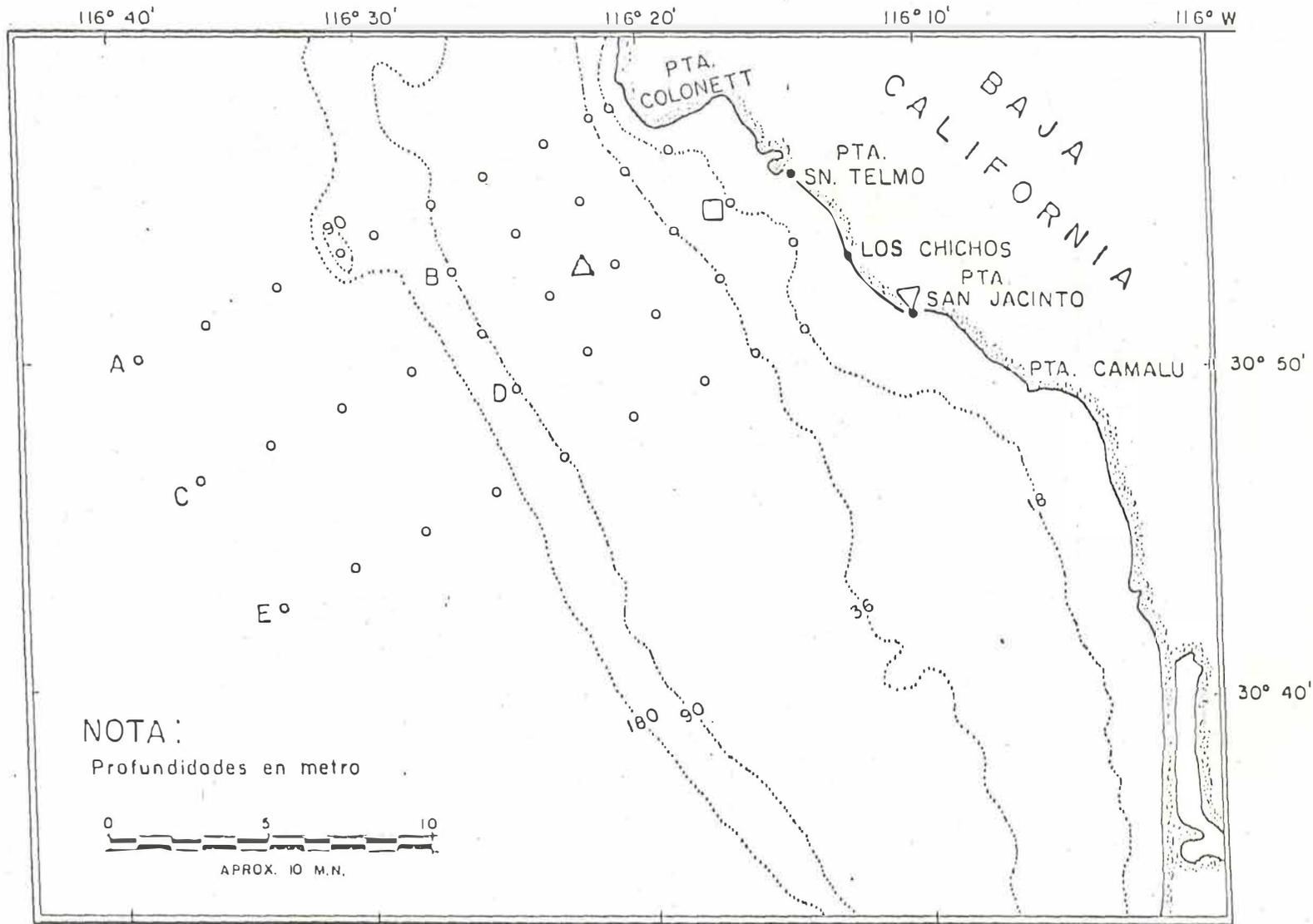
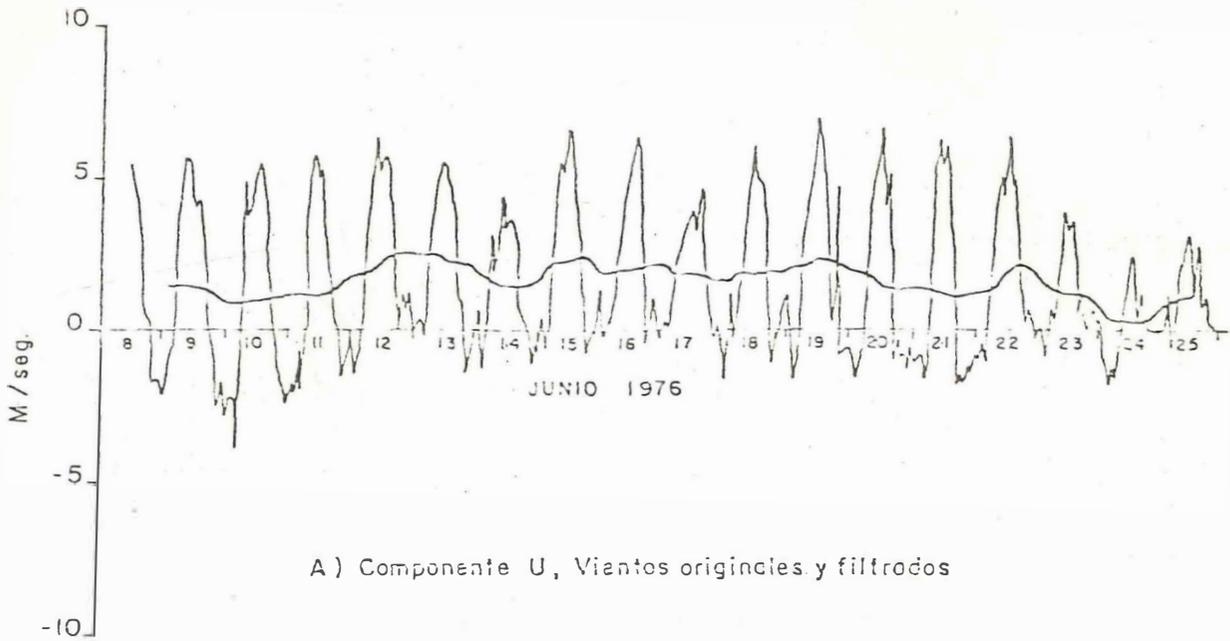


Fig. 2. Area de muestreo: (□) Estación hidrográfica anclada; (▽) Estación meteorológica; (Δ) Estación anclada, medición de corrientes; (●) muestreo en la playa; (o) red de estaciones.

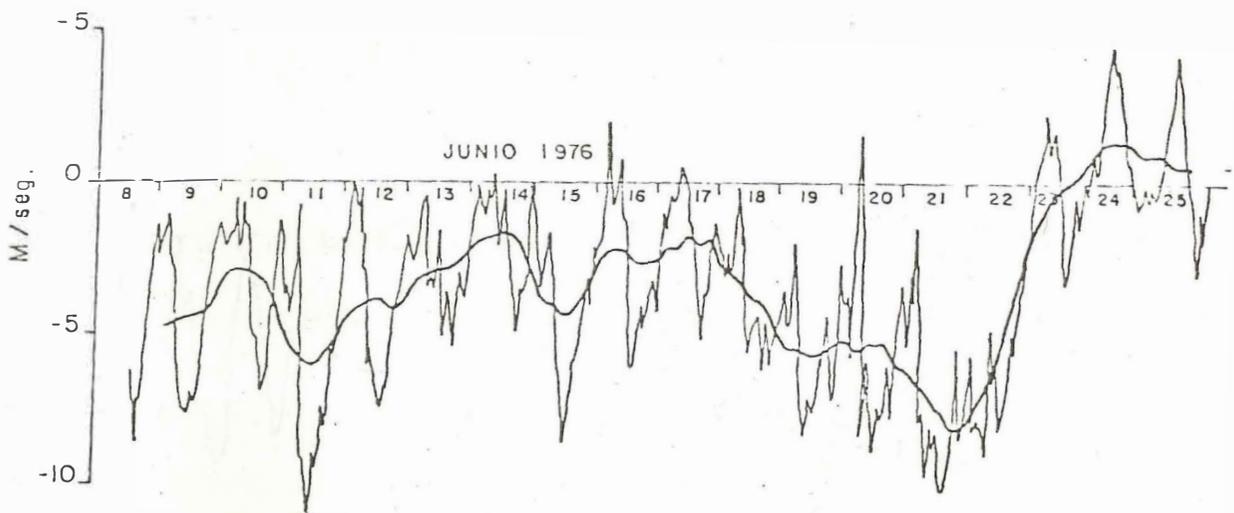
los que daban los 5 minutos de muestreo. Las pequeñas diferencias que se encontraron, no afectan las frecuencias de interés en este estudio. De esta manera se obtuvieron 419 datos, de los cuales se obtienen sus componentes con respecto a la dirección de la costa, V positiva hacia 330° , U positiva hacia 60° . Simultáneamente al registro de vientos por el anemógrafo, se tomaron datos de vientos a 2 metros de altura con un anemómetro de mano. Estas observaciones fueron cada 3 horas completándose una serie de 126 datos a los cuales se les da el mismo tratamiento que a la serie de 10 m de altura. La aduación de las figuras en el texto es la misma para ambas series.

Las dos componentes se filtran con una media corrida de 24 horas (Figs. 3 y 4) para eliminar las variaciones diurnas y semidiurnas y analizar las variaciones del viento en más bajas frecuencias. A las series originales de las componentes U y V del viento, se les sustrajo las series filtradas para obtener series residuales (Fig. 5). De estas series residuales se obtuvo un valor medio de cada hora del día y a estas series de 24 horas se les ajustó la suma de un seno diurno y uno semidiurno. Con estos se calcularon las elipses que describe el vector del viento para esas frecuencias (Fig. 6). Estos ajustes se hicieron con mínimos cuadrados aplicando transformaciones de Householder al sistema de ecuaciones (Claerbout, 1976). Con la aplicación de estas transformaciones se obtuvo un sistema simultáneo en forma de matriz triangular superior, el cual se soluciona para obtener los parámetros de las ecuaciones planteadas. Estos parámetros determinan la ecuación que más se ajusta a los datos y que da un error mínimo.

De las series de vientos U y V se obtuvieron espectros con una transformada rápida de Fourier y espectros rotacionales con el método de Gonella (1972), figuras 7, 8 y 9. El método descrito por Gonella (1972) es una relación entre los coeficientes de Fourier estimados a partir de las componentes de un vector. Este método hace una descomposición de la serie de tiempo vectorial en dos componentes rotacionales para cada

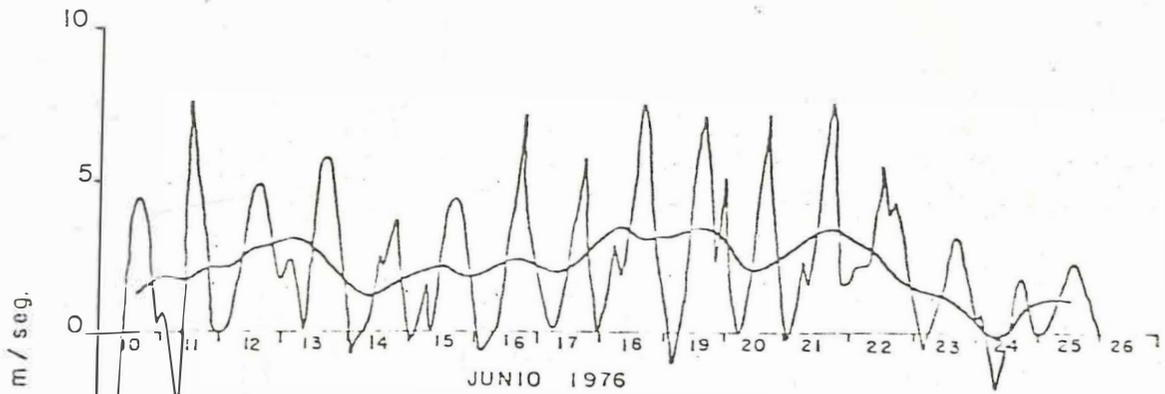


A) Componente U, Vientos originales y filtrados

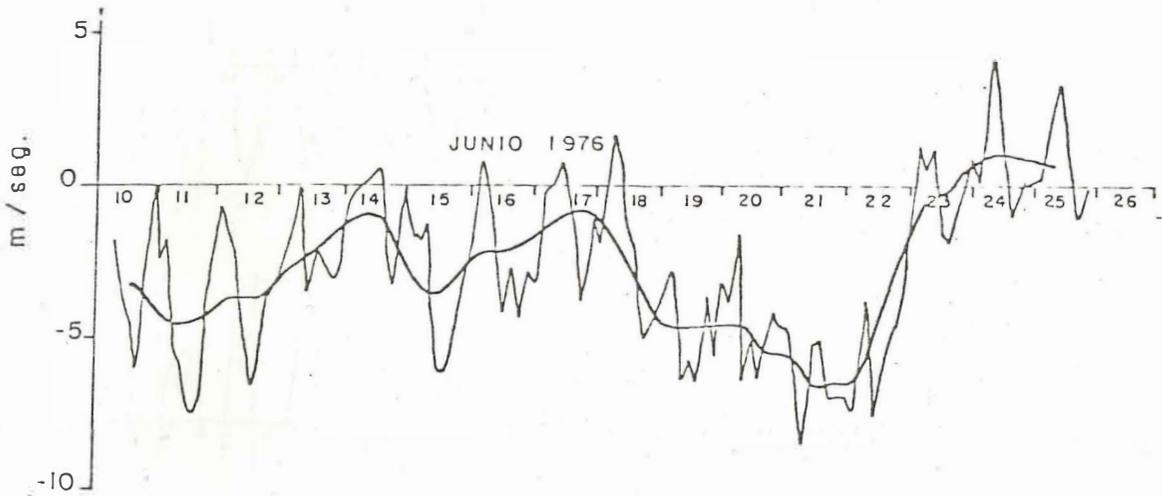


B) Componente V, Vientos originales y filtrados

Fig.3. Viento a 10 metros de altura..

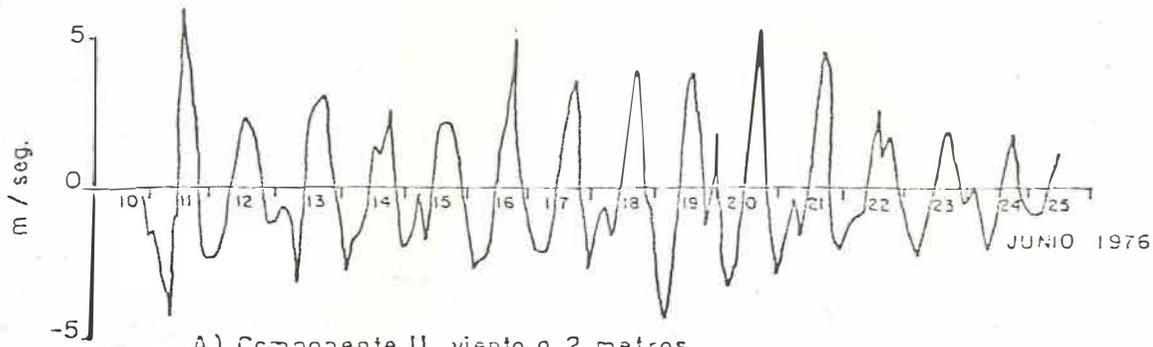


A) Componente U, Vientos originales y filtrados

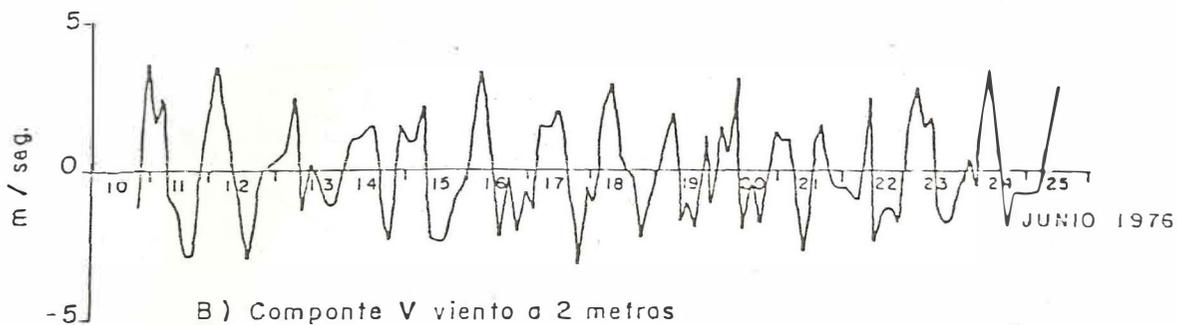


B) Componente V, Vientos originales y filtrados

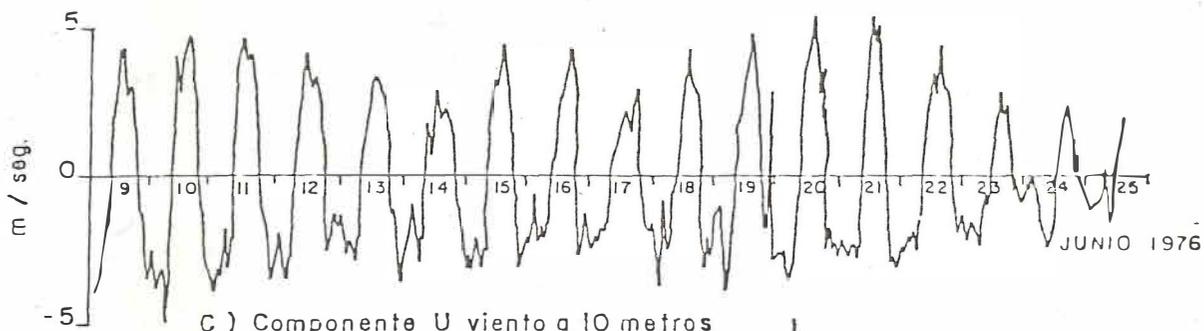
Fig.4. Viento a 2 metros de altura.



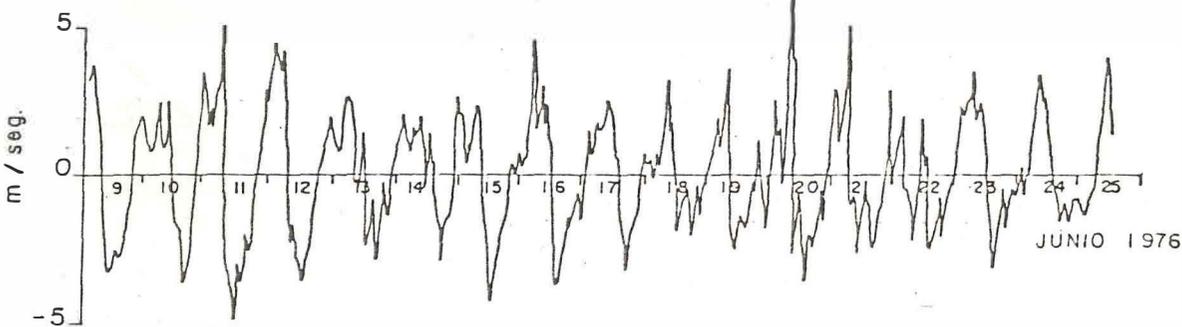
A) Componente U viento a 2 metros



B) Componte V viento a 2 metros



C) Componente U viento a 10 metros



D) Componente V viento a 10 metros

Fig. 5. Serie de vientos residuales.

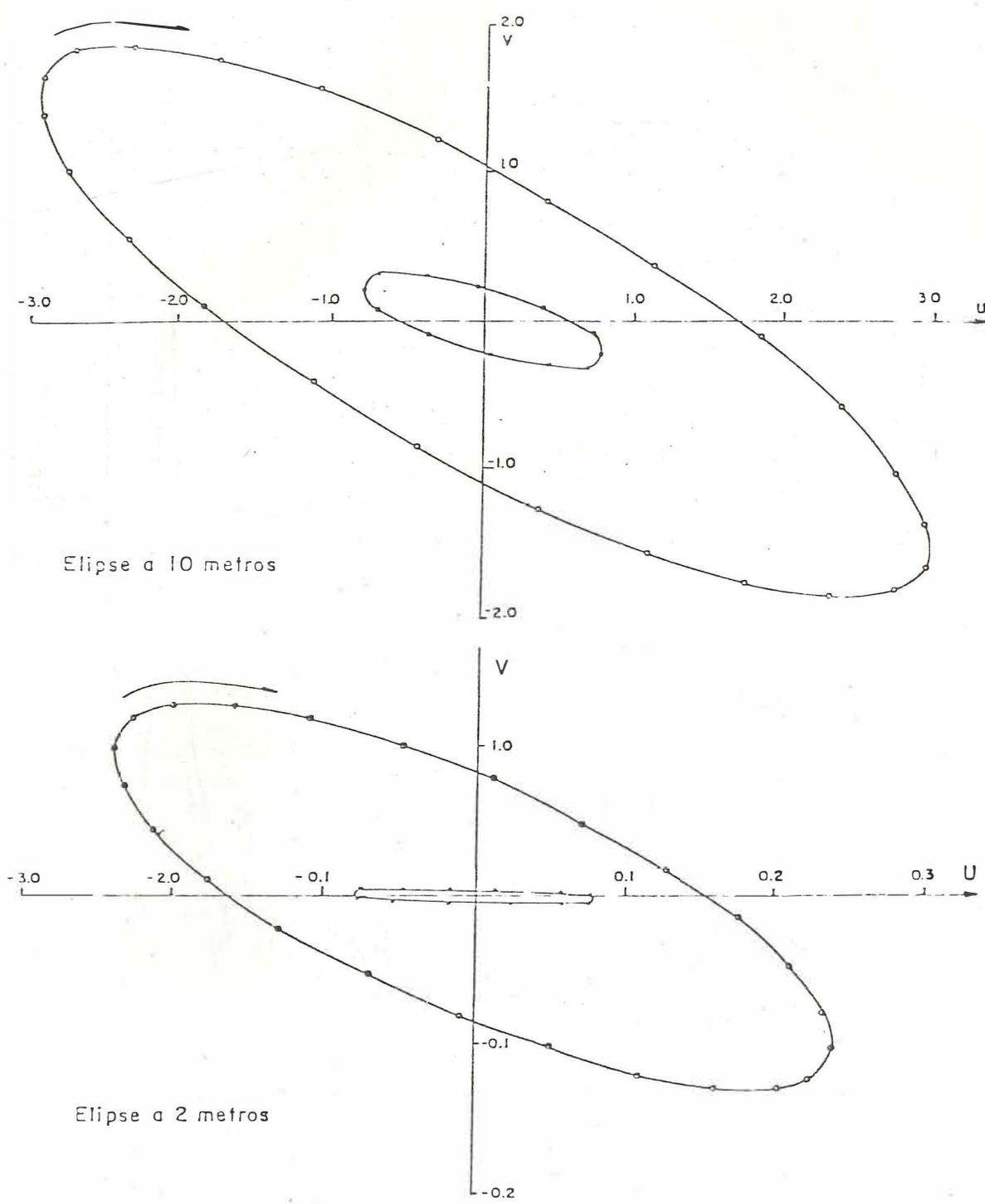


Fig. 6. Elipses ajustadas a los promedios horarios residuales de la velocidad del viento a 10 y 2 metros de altura.

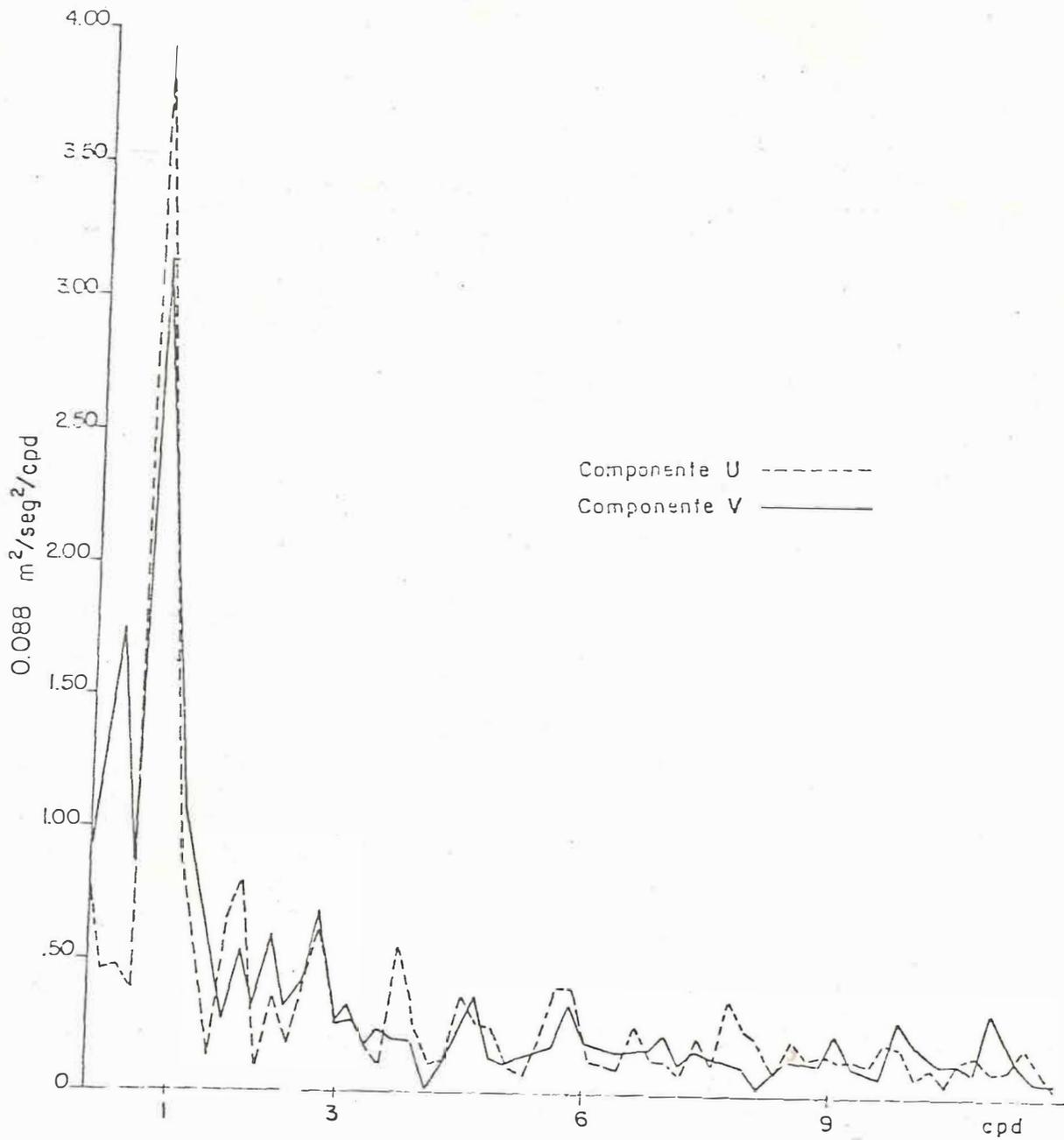


Fig. 7. Espectros de energía para la componente U y la componente V, del viento a 10 metros de altura calculadas con 8 grados de libertad.

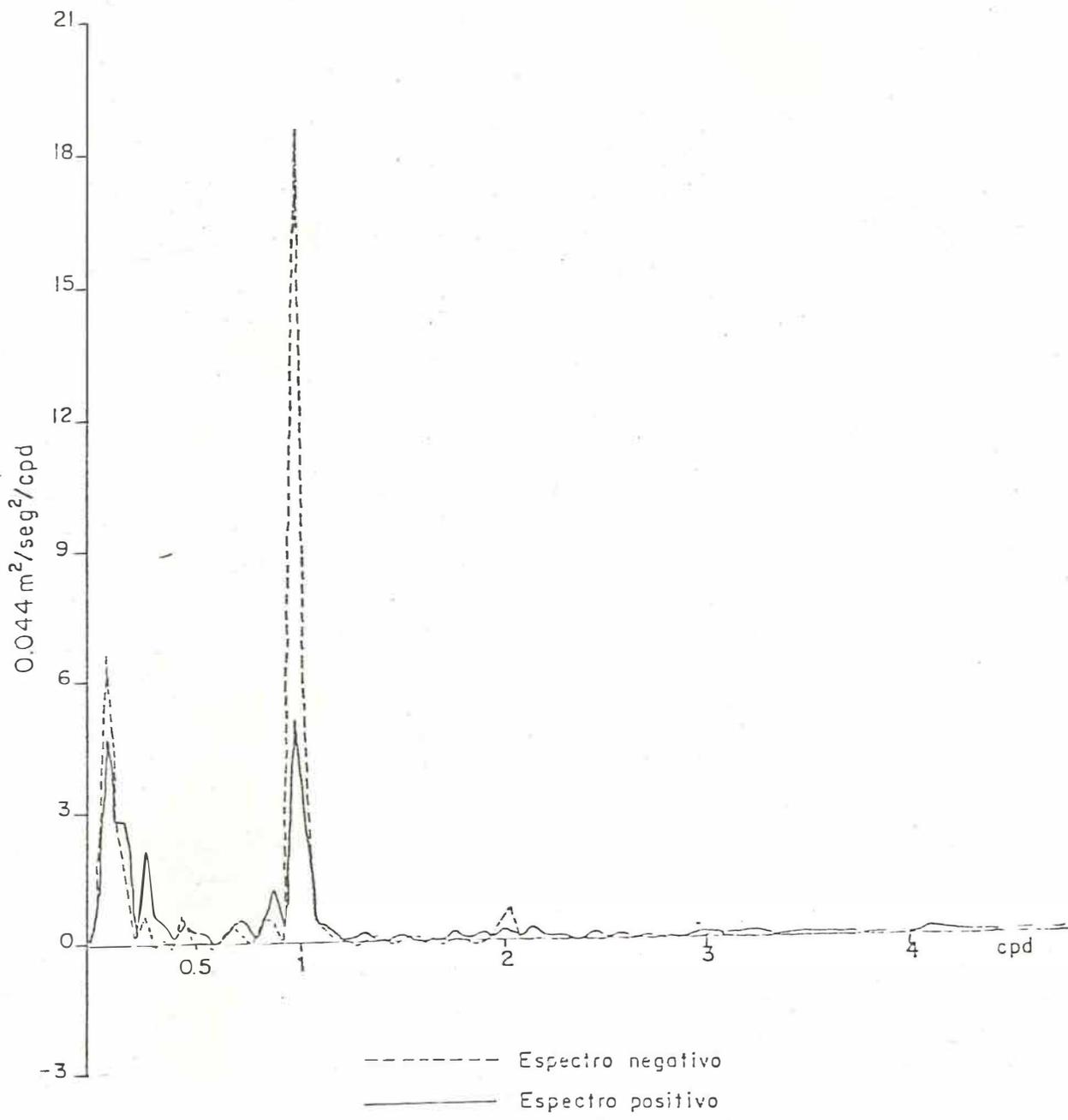


Fig.8. Espectro rotacional del viento a 10 m de altura.

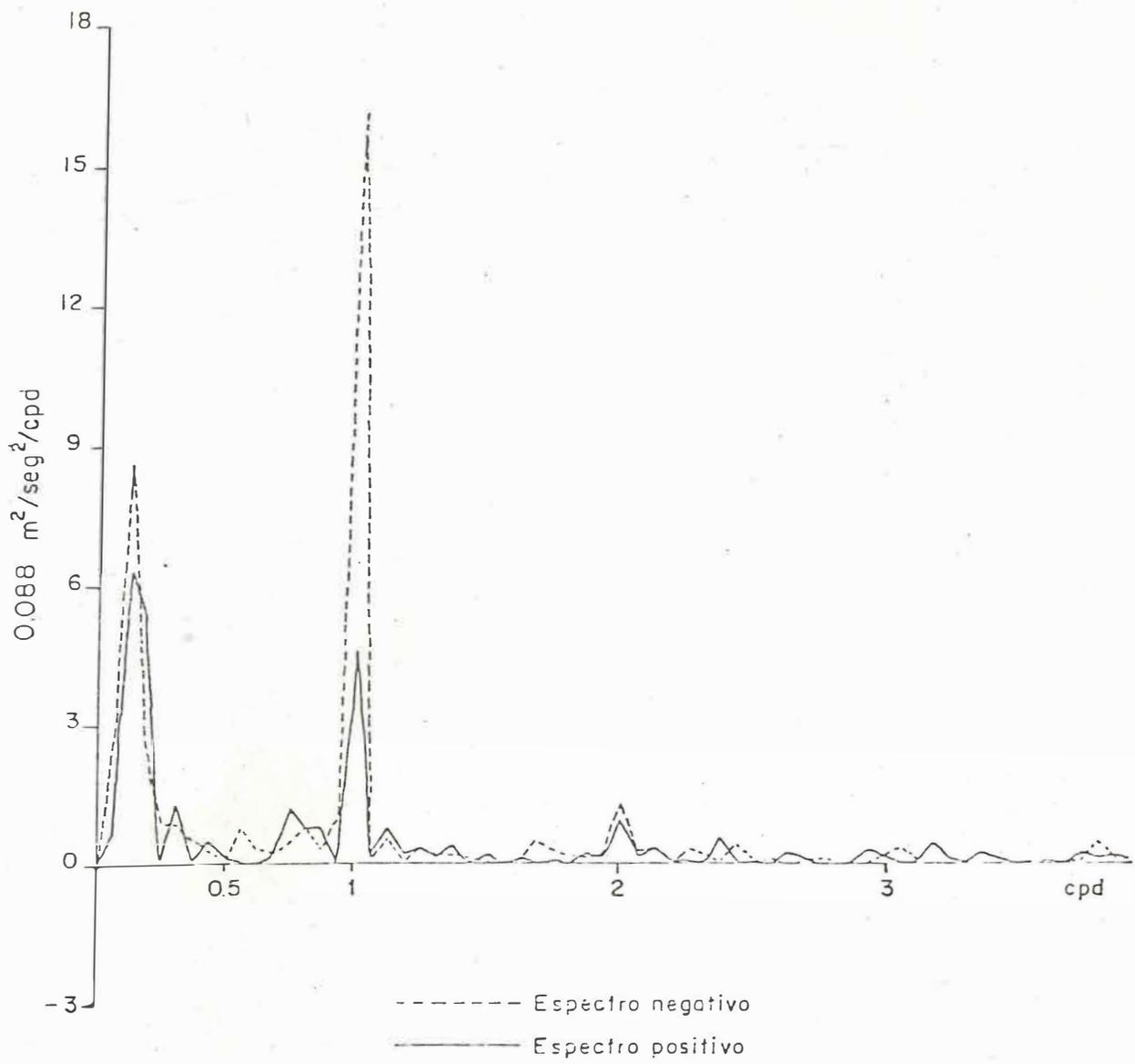


Fig. 9. Espectro rotacional del viento a 2 m de altura.

frecuencia analizada. La componente negativa, espectro rotacional negativo, determina el círculo que describe la punta de un vector de cierta magnitud en el sentido de las manecillas del reloj. La componente positiva, espectro rotacional positivo, determina el círculo descrito por otro vector en el sentido inverso. Las comparaciones entre estos dos espectros determinan las características del movimiento rotacional del vector. La dominancia de la estimación de uno de los dos espectros sobre el otro, en una frecuencia dada, indica el sentido de rotación del vector. Así si la estimación del espectro negativa es mayor, significa rotación hacia las manecillas del reloj, en cambio si es mayor el espectro positivo, significa giro en sentido contrario. La diferencia entre los dos espectros proporciona una medida de la excentricidad de la elipse. Así si ambas estimaciones tienen un valor igual, significa movimiento en -- una sola dirección. En cambio si una de ellas es cero, esto -- significa que el vector está girando en forma circular.

CORRIENTES.- Las corrientes se obtuvieron con un PCM - - - -- (Profiling Current Meter) en una estación anclada a 6 km de la costa (Fig. 2) donde había 65 m de profundidad. El PCM está -- formado por un correntómetro Aanderaa montado en un sistema de flotación ligeramente negativa, por lo que tiene una caída libre muy lenta dentro del agua. De esta manera puede ir mues--treando toda la columna con datos de magnitud y dirección de -- la corriente, además de temperatura, conductividad y presión. El intervalo de muestreo fue de medio minuto en el tiempo, lo cual significa entre 1.5 y 2.5 m de intervalo en profundidad. Se tomaron 55 perfiles, de los cuales solo el 55% alcanzó la -- profundidad total de 60 metros. El resto, que fueron los primeros lanzes, fluctuó entre profundidades de 17 a 30 m, figuras (11, 12, 13 y 14). Este método de obtener perfiles de corriente fue desarrollado por Düing y Johnson (1971) y según las -- pruebas que hicieron en una corriente fuerte como es la del -- Golfo, el error que dan las mediciones es relativamente pequeño. Ellos aclaran que para una corriente fuerte o moderada, -- el error en la medición de dirección es de $\pm 5^\circ$ y el error en --

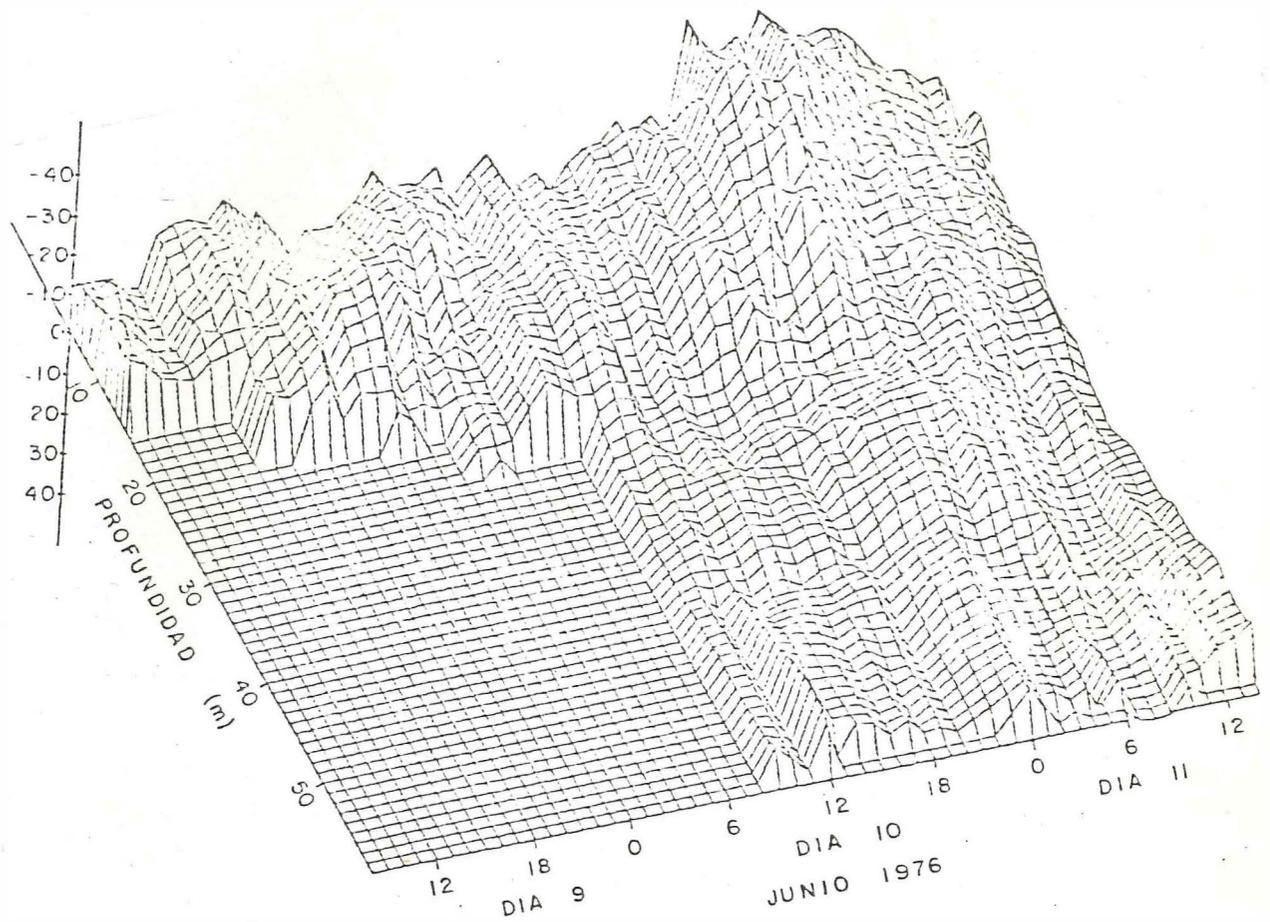


Fig. 11. Serie de tiempo de perfiles de velocidad en un punto sobre la plataforma continental (Componente U), la dirección positiva es 60° .

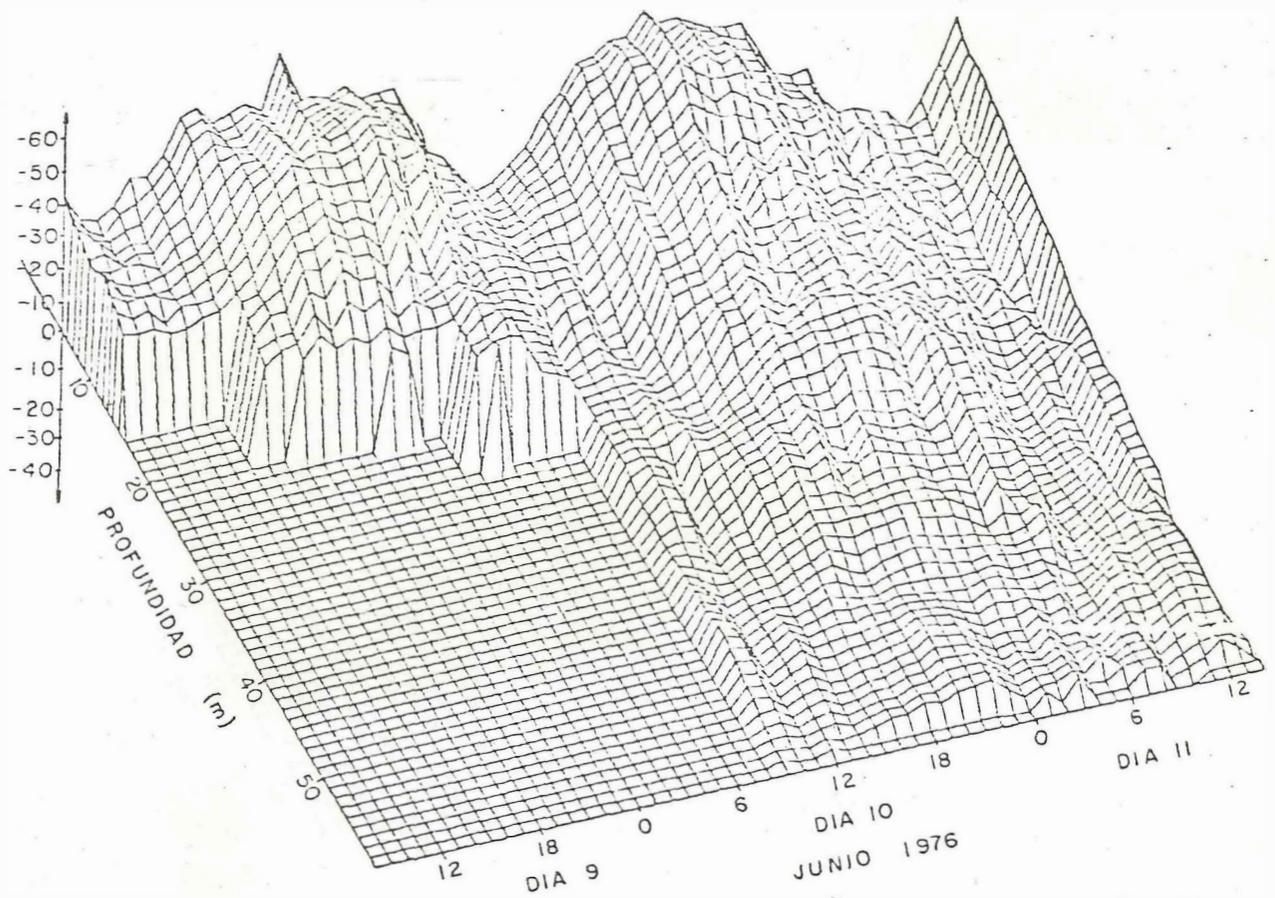


Fig. 12. Serie de tiempo, perfiles de velocidad en una estación anclada sobre la plataforma continental (Componente V), la dirección positiva es 330° .

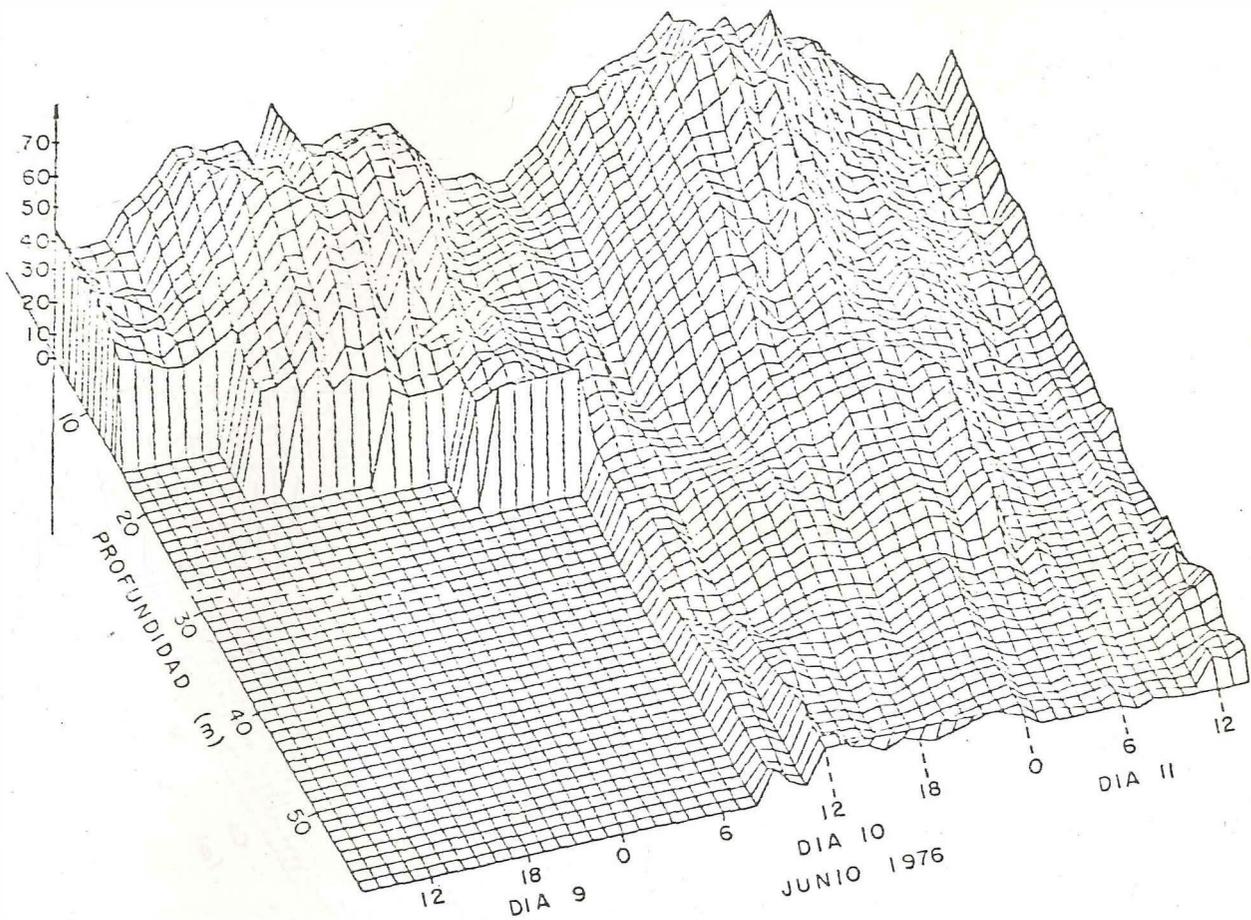


Fig.13. Serie de tiempo de perfiles de velocidad absoluta (magnitud) en un punto sobre la plataforma continental.

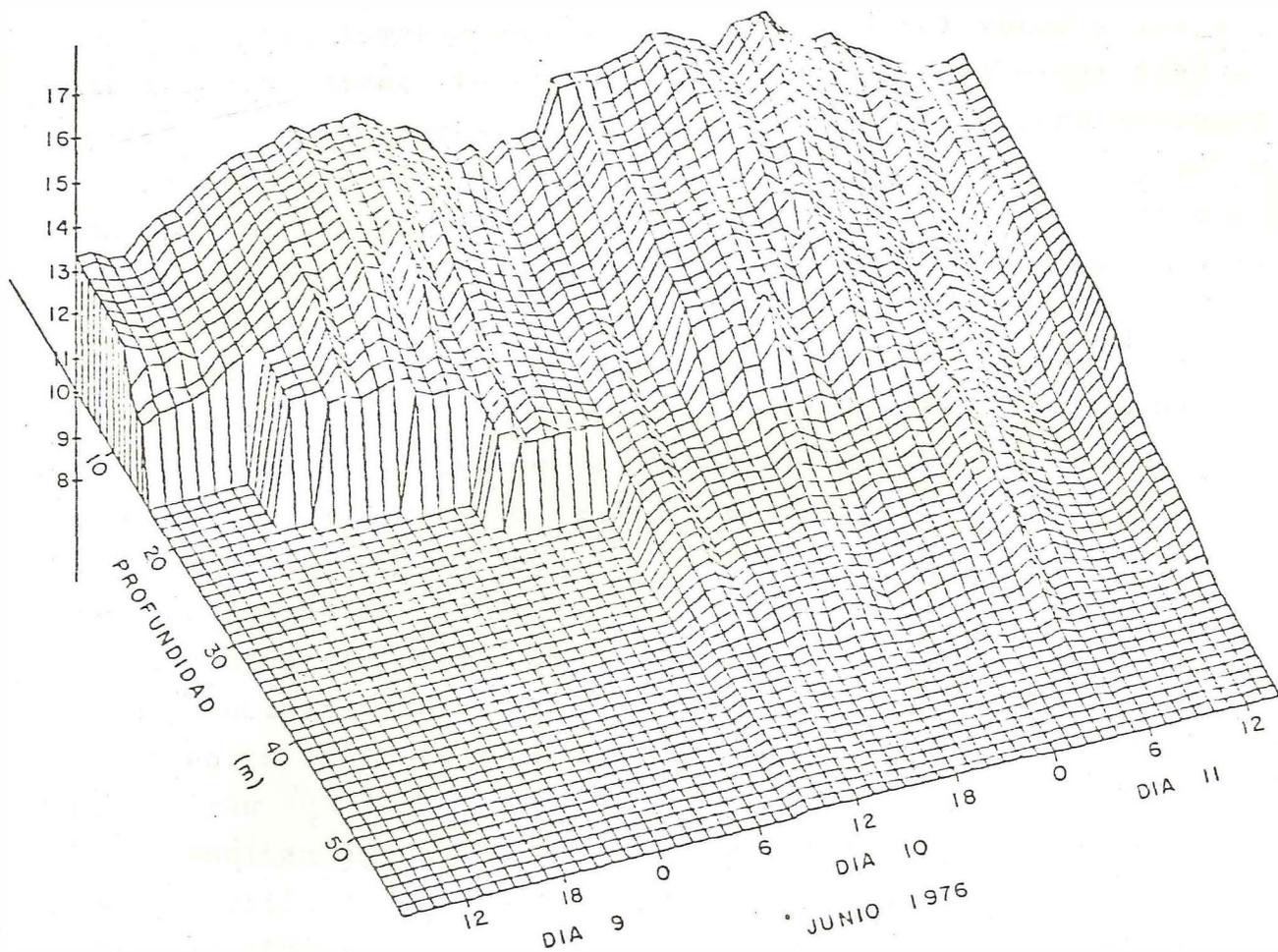


Fig.14. Serie de tiempo de perfiles de temperatura en un punto sobre la plataforma continental.

la intensidad lo considera también pequeño, dado que las fuentes posibles de error no contribuyen con valores grandes. En el caso de este estudio se piensa que el error en la rapidez es menor que 6%, tomando en cuenta la inercia del rotor y los movimientos del barco. En cambio en la dirección el error debe ser mayor, ya que un barco pequeño en oleaje grande tiene movimientos bruscos que pueden introducir error en la dirección, sobre todo en corrientes débiles cercanas a la superficie. Por eso se piensa que el error puede aumentar hasta 10° cuando la corriente es débil cerca de la superficie.

De las corrientes se obtuvieron las componentes normal y paralela a la costa. Para esto se tomó la dirección de 60° como el sentido positivo de la componente normal a la costa, componente U. La dirección de 330° se tomó como el sentido positivo de la componente paralela a la costa, componente V. Esta dirección estaba en concordancia con la dirección de la costa y de la batimetría al sur de Punta Colonet, pero no con la dirección principal promedio de las corrientes, ni con la línea de costa norte de la Punta Colonet, por lo que posteriormente se discutirán sus implicaciones.

Simultáneamente al muestreo de corrientes con el PCM, también se utilizó un correntómetro Kahlsico T.S., Modelo 101, de registro continuo, el cual se colgó por una banda de la embarcación, manteniéndose en una profundidad de 15 m. De este correntómetro solo se obtuvieron datos durante 24 horas y estos se utilizaron para hacer comparaciones con el PCM. En estas comparaciones se encontró que las magnitudes de las corrientes eran similares en ambos; pero en la dirección no coincidían. Dado que la dirección del correntómetro Kahlsico fue comprobada antes y después del muestreo, se tomó esta como correcta y se hicieron las modificaciones a la dirección de corriente obtenida con el Aanderaa.

De los datos originales del Aanderaa se obtuvieron interpolaciones cada 2.5 metros y con estas series resultantes de la interpolación se realizó el análisis de las corrientes. Sabien

do que en los primeros metros, los datos de corrientes vienen contaminados por el oleaje solo se tomaron en cuenta las corrientes debajo de los 10 m.

Usando los datos en 10 m de la serie interpolada, se hace una predicción estadística utilizando el método de Wiener, - - (Claerbout, 1976). Este método de factorización espectral utiliza la matriz de autocorrelación, en forma de matriz Toeplitz en la cual los elementos de sus diagonales son iguales y además es posible obtener una simetría en el tiempo a los lados de la diagonal mayor. De la serie original se obtiene la autocorrelación y esta serie de autocorrelación se organiza en la forma de una matriz Toeplitz con la cual se forma un sistema de ecuaciones cuya solución es el filtro predictor. Este filtro se convoluciona con la serie original para encontrar el siguiente punto en el extremo de la serie. Esta serie con un punto predicho se vuelve a convolucionar con el filtro para encontrar un punto más y así sucesivamente se van haciendo convoluciones con la serie hasta completar el número de puntos que se quieran predecir. Esto se puede hacer por ambos extremos, para disminuir la variancia del error en la predicción ya que entre más alejado este un punto predicho del extremo de la serie original, su error estadístico posible será mayor.

A esta serie, original más predicción, se le obtuvo el espectro y se hicieron comparaciones con los espectros obtenidos con la serie original exclusivamente. En las comparaciones, se vió efectivamente más definición en el espectro, recalcando se la importancia de la frecuencia diurna, que era una de las de interés. De la serie final, original más predicción, se obtuvieron espectros rotacionales (Fig. 15) con el fin de hacer comparaciones con los espectros rotacionales del viento. Dado que el nivel de confianza de los espectros calculados con tan pocos puntos es muy bajo, se complementan estos con ajustes de senos y elipses para la frecuencia diurna (Fig. 16). Estos ajustes se hacen también para las profundidades de 20, 30 y 40 metros (Fig. 17), donde los datos son más pocos aún y los cál-

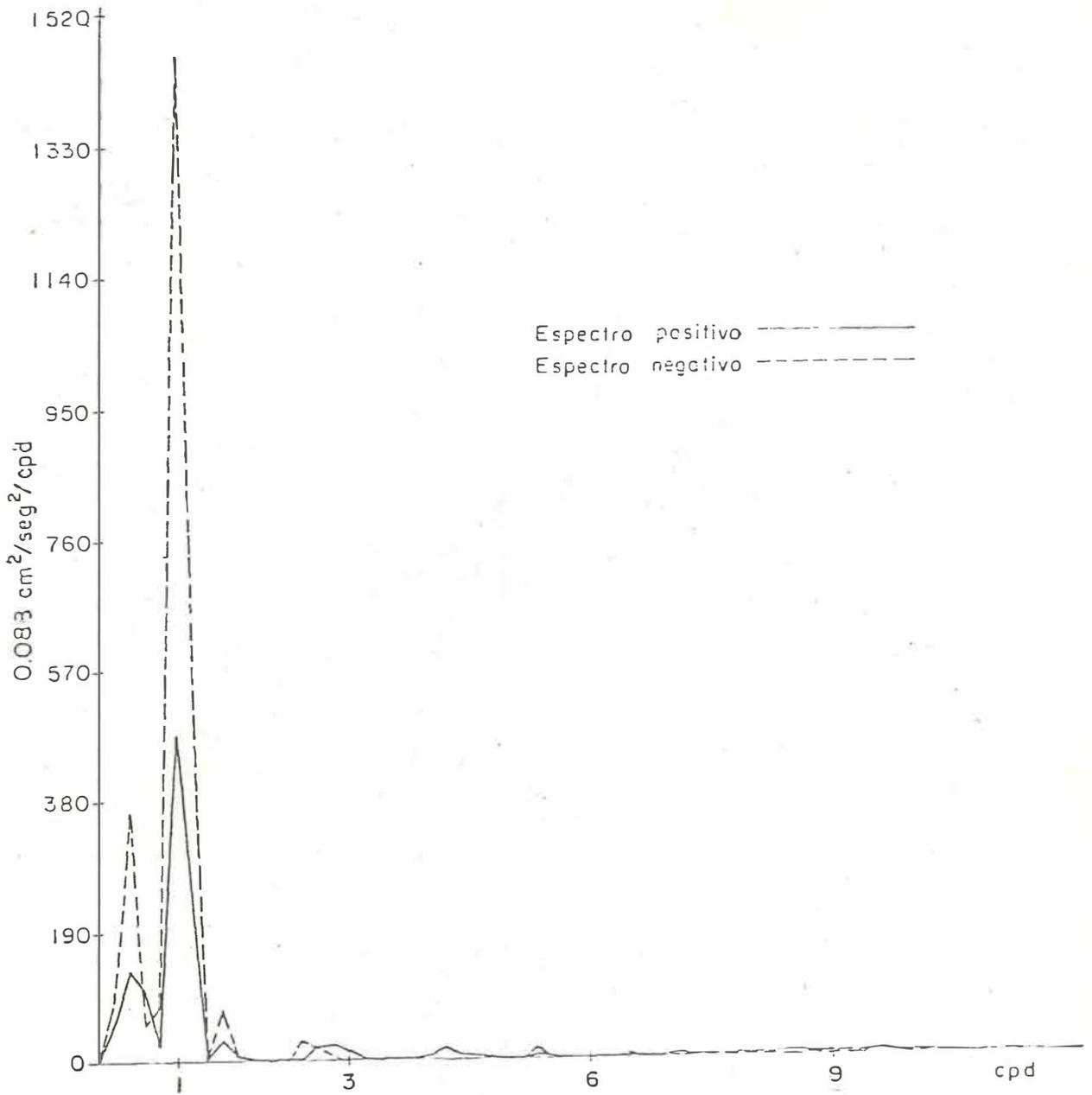


Fig.15. Espectro rotacional de las corrientes a 10 m de profundidad.

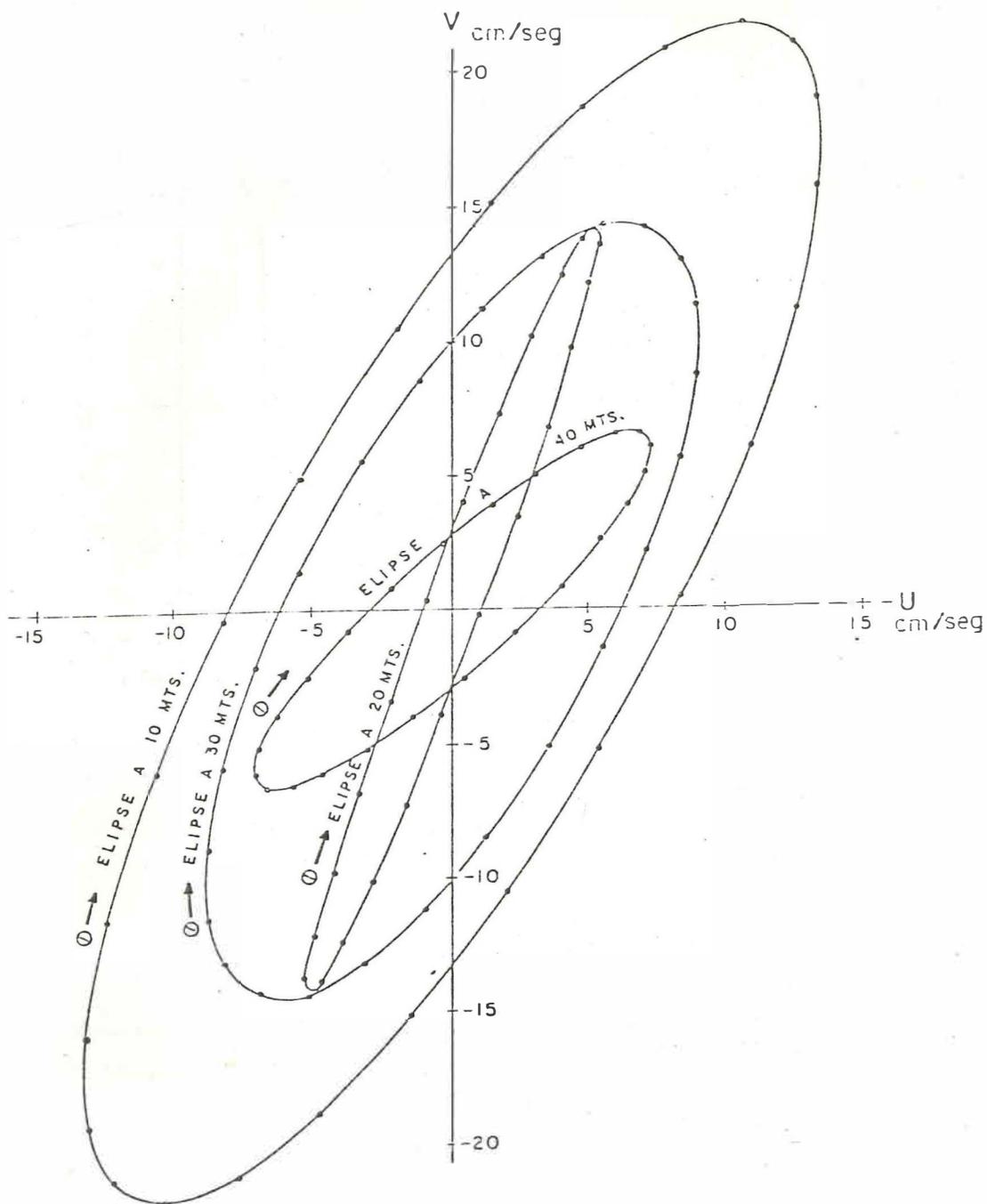


Fig.16. Elipses ajustadas a los promedios horarios de la velocidad de la corriente a diferentes profundidades.

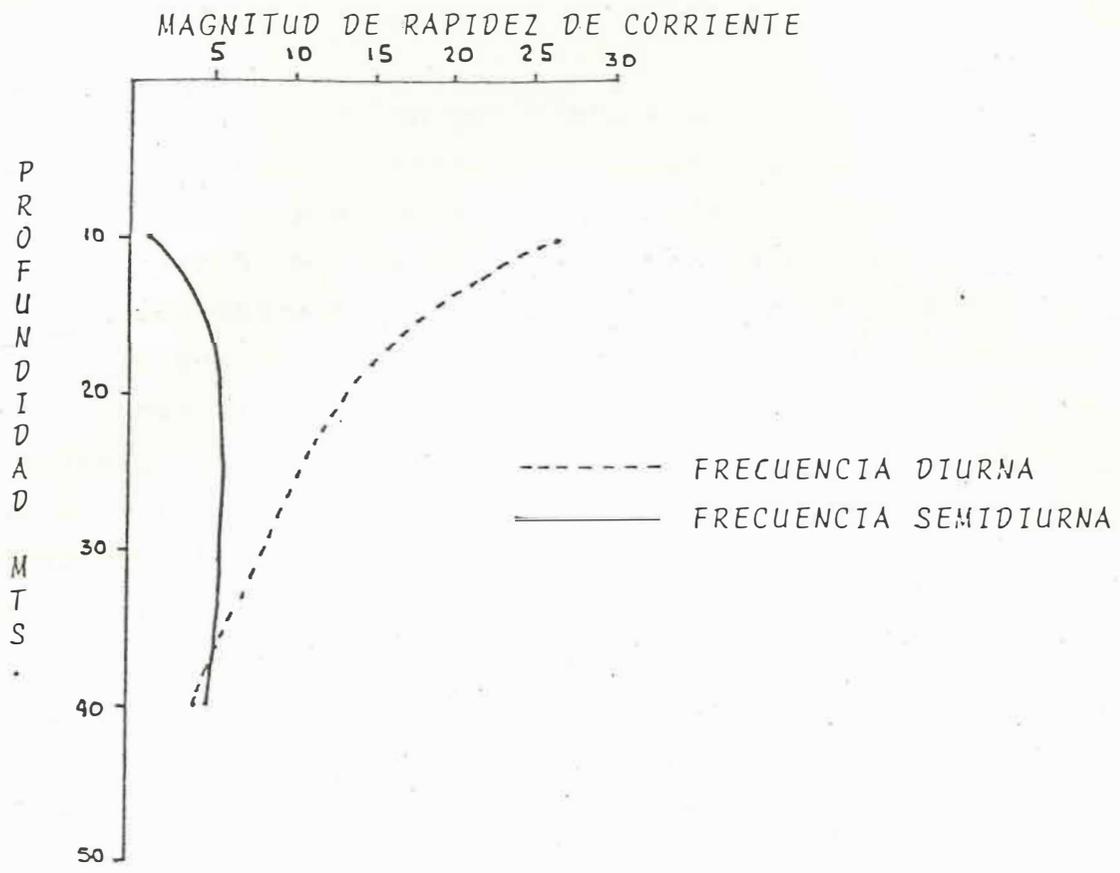


Fig. 17. Variación de la rapidez de corriente con profundidad en las frecuencias diurna y semidiurna para un punto sobre la plataforma -- continental cerca de Punta Colonet.

culos de espectros no serían posibles.

NIVEL DEL MAR.- De la Secretaría de Marina se obtuvieron los datos de alturas horarias para el Puerto de Ensenada, que es el lugar de medición más cercano a la zona de estudio. La distancia entre los dos puntos es aproximadamente de un grado de latitud por lo que para fines prácticos tiene igual comportamiento. A estos datos se les aplica un filtro para extraer la marea (Groves, 1955) y después se muestrea la serie para un dato diario. A las series de nivel de mar sin mareas se les hace una corrección por presión atmosférica sumando por cada milibario de desviación sobre la media un centímetro al nivel del mar de ese día o sea $N_c = N_o + (P - P_u)$ donde N_o es el nivel del mar original, N_c = nivel de mar corregido, P = presión medida ese día, P_u = valor promedio de la presión para toda la serie. La presión está dada en milibarios y el nivel del mar en centímetros (Fig. 18).

INDICES DE SURGENCIA.- Los índices de surgencia son valores de masa transportada hacia afuera de la costa por unidad de longitud de costa. Este transporte es dado por la expresión $T_m = \frac{\tau}{f}$, donde τ es el esfuerzo friccional del viento y f es el parámetro de Coriolis. El esfuerzo está dado a su vez por $\tau = C_d P_a |\bar{U}| \bar{U}$, donde P_a es la densidad del aire, \bar{U} es el vector del viento y C_d es el coeficiente de arrastre. No hay un valor fijo para C_d aceptado universalmente, los valores varían entre 0.0011 y 0.0017, según los diferentes autores, en este caso Bakun utilizó el valor de 0.0013 dado por Deleonibus (1971, de Bakun, 1975). Estos índices están publicados por Bakun desde 1946 hasta 1973 (Bakun-1972, 1975), y por su conducto se obtuvieron los índices desde 1974 hasta abril de 1977. De estos índices se hicieron cálculos de densidad espectral para toda la serie (Fig. 19) y también para segmentos de 2 y 3 meses, obteniendo espectros representativos de toda la serie y representativos de los meses de verano (Fig. 20).

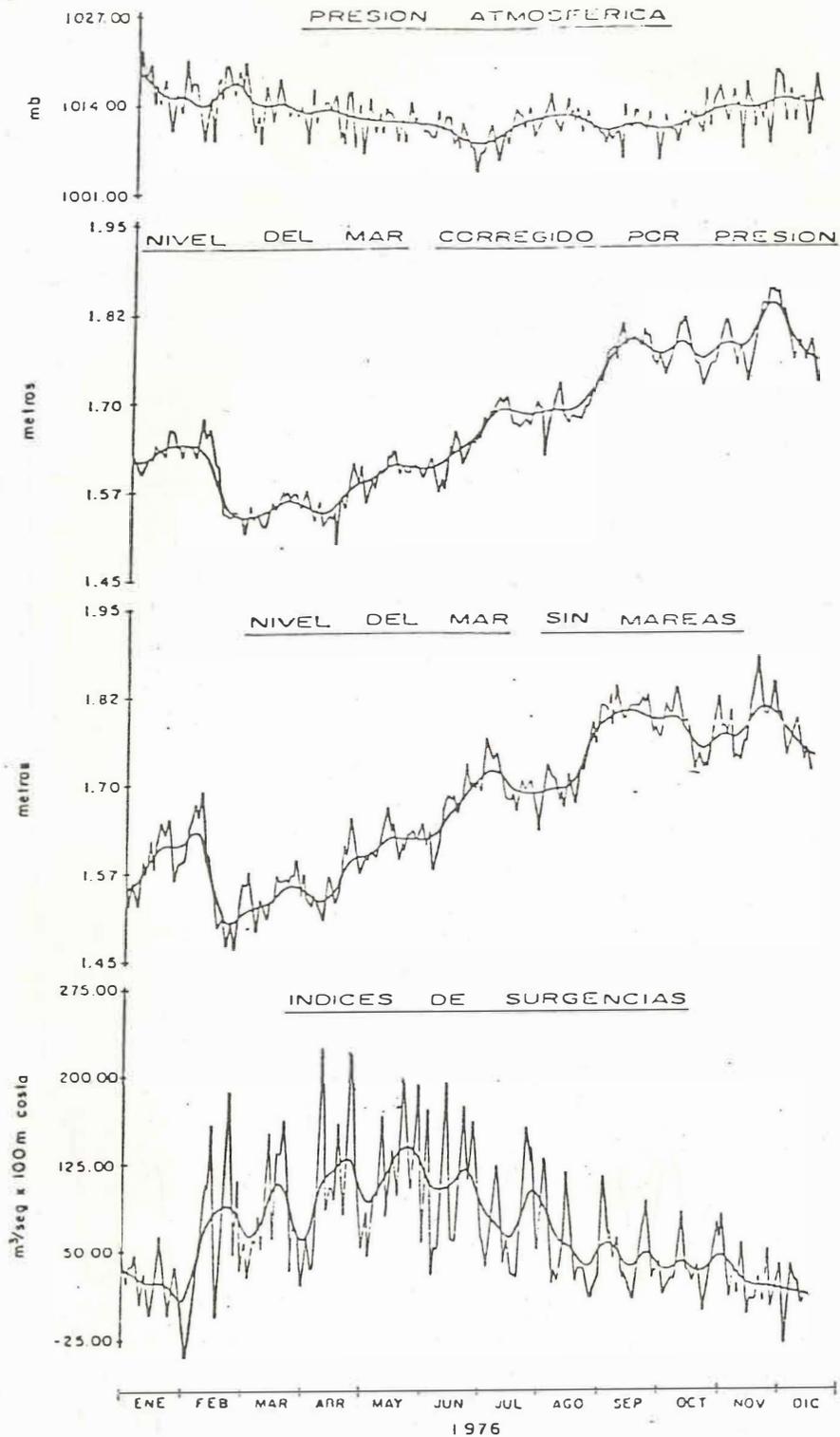


Fig. 18. Series de tiempo de nivel del mar, presión atmosférica e índices de surgencia para el año de 1976.

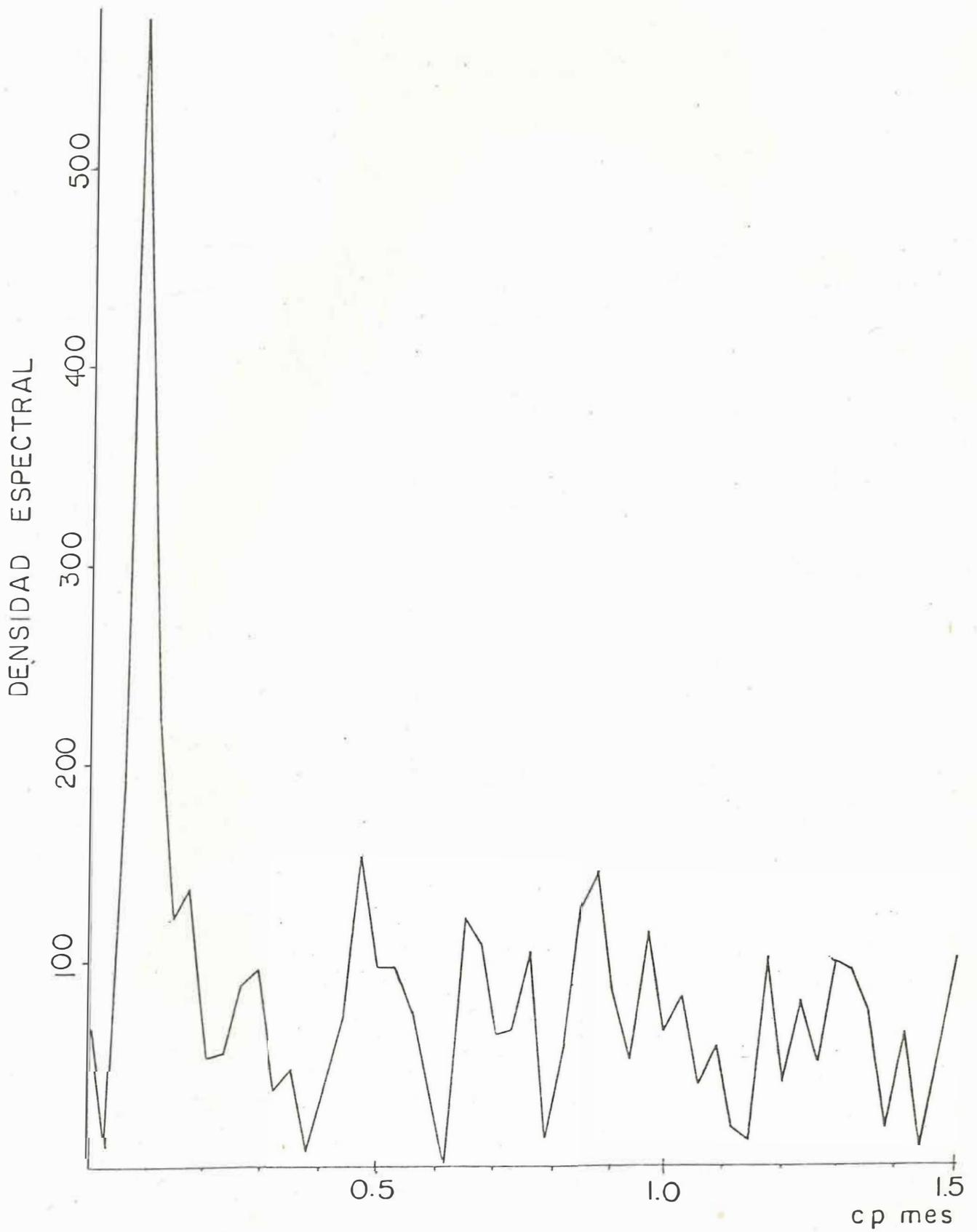


Fig. 19. Espectro de los índices de surgencia de cartas meteorológicas para una serie de 3.3 años.

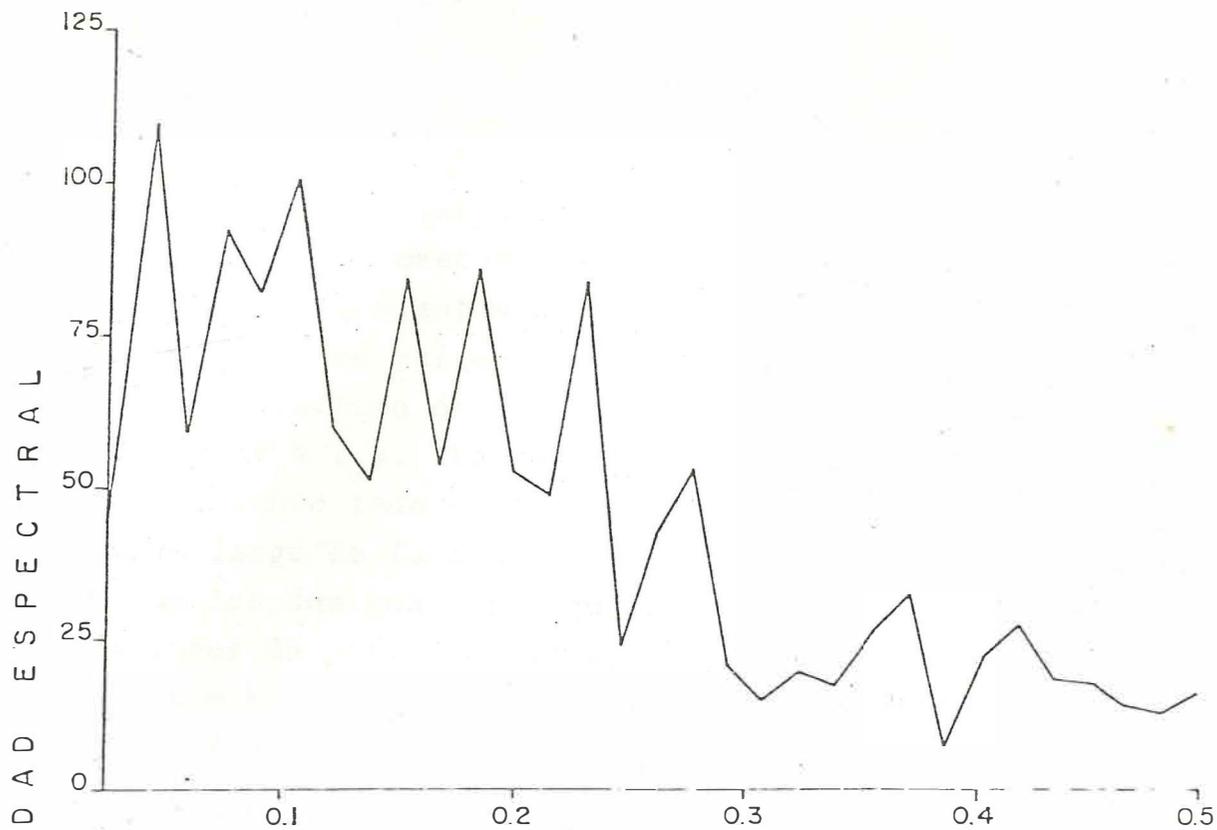


Fig.20. Espectros de los índices de surgencias.

RESULTADOS Y DISCUSION

Vientos, Aspectos Generales

Los datos de vientos tomados en la costa a 2 y 10 m se -- presentan en sus componentes U y V en las figuras 3 y 4. Fue evidente que los vientos a 10 y 2 metros son muy parecidos, -- principalmente en rasgos generales y como es de esperarse, sus diferencias parecen deberse al mayor efecto de la fricción sobre la serie a 2 m. La correlación entre ambos registros fue muy alta, sobre todo en las series filtradas de las componentes a lo largo de la costa. En términos generales puede observarse en los dos registros que las dos componentes presentan variaciones de período diurno, el cual es más evidente en la componente U. (Fig. 3 y 4). También es evidente que tanto el viento a 2 m como a 10 m, presentan las mismas intensificaciones hacia el ecuador, los días 11, 15 y del 19 al 21, observándose igualmente debilitamiento los días 14, 17 y del 22 al 25. Parece ser que las variaciones de largo período (serie filtrada) de la componente V determina el comportamiento de los 2 fenómenos de interés para este estudio, como son las surgencias y el sistema de brisas. De las surgencias se infiere que responden con una alta correlación a las variaciones de baja frecuencia (< 0.6) del viento hacia el ecuador (Smith, 1968). De las brisas se puede observar en ambos registros que la componente normal a la costa tiene una amplitud de la variación diurna bastante regular y que solamente cuando la serie filtrada de la componente V tuvo valores muy bajos en dirección al ecuador, entonces hay un debilitamiento de la variación diurna en la -- componente U. Esto es claro en las gráficas, las cuales muestran debilitamientos de las brisas los mismos días en que el debilitamiento del viento hacia el sur fue excesivo, (Fig. 3 y 4). La correlación entre la serie filtrada de la componente V y la serie formada con las amplitudes de las brisas, tomada de la serie de residuales (Fig. 5), da un valor muy alto (0.87) - lo cual da una idea clara de la dependencia del sistema de brisas con el viento paralelo a la costa. La regresión calculada con ambas series (Fig. 21) nos da que la amplitud de las brisas

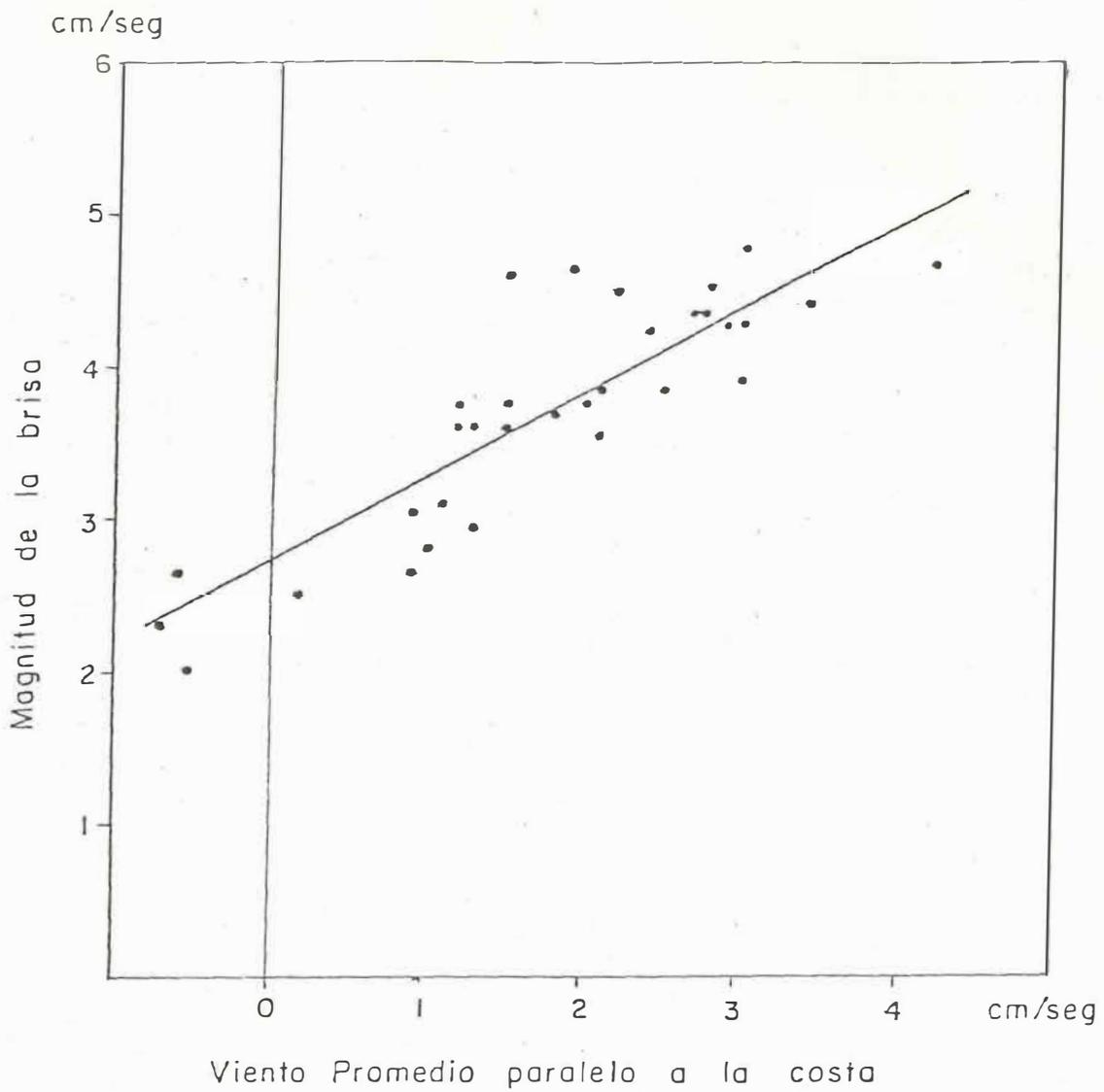
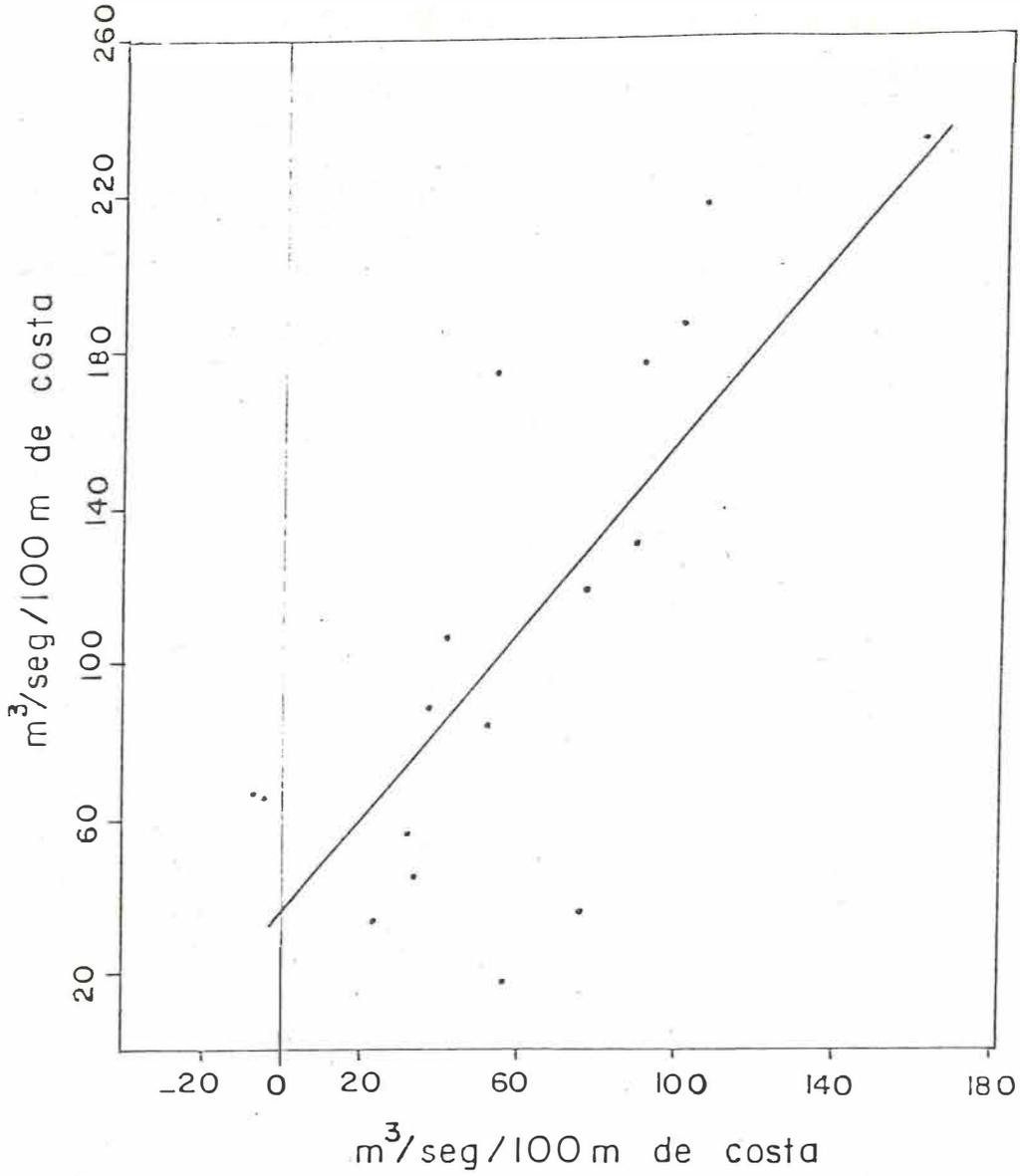


Fig. 21 Regresión entre el viento promedio diario paralelo a la costa y la amplitud de la brisa.

Indíces de surgencia de cartas meteorológicas



Indíces de surgencia locales

Fig. 22. Regresión entre índices de surgencia calculados de cartas meteorológicas e índices calculados con el viento local en Punta Colonet.

está dada por $A = 0.57 V + 2.70$, donde A , es la amplitud de la brisa y V es el valor correspondiente de la velocidad del viento a lo largo de la costa en la serie filtrada. Smith (1968) asegura que las surgencias contribuyen al sistema de brisas debido a que las aguas frías superficiales aumentan el gradiente de presión entre mar y tierra, incrementando con esto la fuerza de las brisas.

En la tabla 1 se muestra la estadística de ambos registros, tanto de los vientos originales como de los filtrados. El valor promedio de la rapidez es mayor para la serie a 10 m y la razón entre ambos promedios es de 1.11. Esta disminución en la velocidad del viento es provocada por el efecto de fricción. Se sabe que en los primeros 1,000 m el viento aumenta exponencialmente con la altura, siendo en el primer metro donde tiene el máximo incremento, a más altura este aumento es de menor consideración. El valor promedio de la componente V también es mayor a 10 metros de altura, en cambio el promedio de la componente U es menor a 10 m, lo que pone de manifiesto una desviación de la dirección dominante del viento a 2 m de altura. En el promedio los vientos a 2 metros están desviados 14° hacia la izquierda con respecto a los vientos a 10 m. El sentido de esta desviación concuerda con la teoría de la espiral de Ekman (1905, de Sverdrup et al 1942).

El sistema de brisas

Para hacer un estudio de las brisas de mar y tierra de la zona de estudio se siguieron dos métodos de análisis, uno por medio de ajustes de las frecuencias de interés y el otro por análisis de espectros de frecuencias.

Las series de residuales (Fig. 6) muestra claramente la parte diurna de los vientos, la cual también es evidente en las evaluaciones de los espectros de energía (Figs. 8, 9 y 10). Los datos con los que se contaron (419), fueron pocos por lo que hubo que trabajar con espectros con solo dos grados de libertad, aunque se evaluaron también espectros de 8 grados de

	VIENTOS A 10 METROS						VIENTOS A 2 METROS					
	DATOS ORIGINALES			DATOS FILTRADOS			DATOS ORIGINALES			DATOS FILTRADOS		
	RAPIDEZ	U	V	RAPIDEZ	U	V	RAPIDEZ	U	V	RAPIDEZ	U	V
NUMERO DE PUNTOS	419	419	419	395	395	395	126	126	126	118	118	118
PROMEDIO	4.6	1.5	- 3.4	4.7	1.5	- 3.5	4.2	2.1	- 2.7	4.2	2.2	-2.8
DESVIACION ESTANDAR	3.0	2.5	3.1	1.7	0.6	2.2	2.8	2.4	2.8	1.7	0.9	2.1
KURTOSIS	2.2	1.8	2.4	2.4	2.6	2.7	0.2	0.5	0.0	2.2	2.7	2.1
SESGO	0.4	0.3	0.0	0.1	-0.5	0.3	1.9	2.7	2.3	0.1	-0.5	0.0
VALOR MAXIMO	12.5	6.9	4.6	8.7	2.5	1.3	9.8	7.7	4.2	8.0	3.6	1.0
VALOR MINIMO	0.0	-4.1	-11.1	1.4	0.1	-8.2	0.0	-3.7	-8.6	1.2	0.0	-6.8

Tabla 1

libertad los cuales sirvieron para dar una idea estadística del nivel de confianza de los picos del espectro. En los espectros se puede observar 3 picos de interés, uno de frecuencia semidiurna, otro en la diurna y el otro en bajas frecuencias entre 4 y 8 días. De estos tres picos solo fue significativo el pico diurno, ya que el pico semidiurno no aparece con suficiente energía en el espectro con 8 grados de libertad. Por otro lado la serie fue muy corta para evidenciar claramente el pico de baja frecuencia.

Considerando todo lo anterior, se analizaron los espectros con dos grados de libertad, los cuales dieron resultados que concuerdan claramente con lo esperado para las series; además el análisis de las elipses da resultados similares. De las observaciones a las elipses y a los espectros rotacionales podemos deducir los siguientes resultados: En la frecuencia diurna el espectro negativo muestra un pico mucho más grande que en el positivo para las dos series, lo que nos sugiere elipses amplias girando en sentido de las manecillas del reloj con una razón de 3.5/1 entre el eje mayor y el eje menor, para las dos series. Estos valores son idénticos en las elipses ajustadas a las series residuales. En la frecuencia semidiurna la energía es mucho menor, pero el giro se conserva en el mismo sentido y los resultados de los espectros rotacionales son iguales a los encontrados con los ajustes de elipses. Puede verse que la elipse semidiurna a 10 m es más amplia que la elipse a 2 m y en los espectros se observa a 2 m que el valor negativo del espectro es solo ligeramente mayor que el valor positivo, en cambio a 10 metros la razón entre el valor negativo y el positivo es de 3.5/1, que es muy similar a lo que muestran las elipses ajustadas.

En rasgos generales los espectros rotacionales y las elipses ajustadas, muestran que el sistema de brisas gira en el sentido de las manecillas del reloj, evidenciando el efecto de Coriolis sobre este fenómeno. Así mismo se observa que las elipses que describen las brisas diurnas son iguales en forma a

2 y 10 m pero de menor magnitud a 2 m de altura, debido a la influencia de la fricción con el terreno. También los ejes mayores nos muestran un pequeño giro de 5° grados hacia la izquierda en la elipse a 2 m, lo que está en concordancia con la teoría de la espiral de Ekman. Las elipses semidiurnas también muestran las mismas diferencias, eje girando un poco (14 grados) hacia la izquierda y menor magnitud en la elipse a 2 m. De todo lo anterior se puede decir que el sistema de brisas en la región giraba en sentido de las manecillas del reloj y que el efecto de fricción era más notorio en los vientos a 2 m de altura. Esto es importante, ya que se aprecia el efecto de la fuerza de coriolis en un fenómeno local, además relacionas las variaciones diurnas con las de las corrientes, las cuales girran en el mismo sentido.

Comparación entre los Indices de Surgencia de Cartas Meteorológicas y los Indices de Viento Locales.

De los datos de viento obtenidos en este estudio, se calcularon índices de surgencia utilizando los mismos parámetros que usa Bakun (1974, 1975), con el fin de poder hacer una comparación entre ambos y poder evaluar la bondad de los índices calculados por Bakun. Esta evaluación se hace con el objeto de poder utilizar con mayor confianza los índices de surgencia ya que estos son fácilmente obtenibles a partir de cartas meteorológicas. En la Fig. (22) se puede apreciar que hay una gran concordancia entre ambas estimaciones aunque los índices calculados por Bakun parecen más altos por un factor de dos. En realidad la correlación es buena (0.75) pero el promedio de los índices locales, es la mitad de los índices calculados de cartas meteorológicas. La posibilidad de que el índice de cartas meteorológicas sobre-estime el índice para esta área ya había sido mencionada por Bakun (1974). El cual atribuyó este posible error a que la presencia de la cadena montañosa cerca de la costa provoca sobre-estimaciones en el cálculo del gra-

diente de presión sobre el océano. Esta sobre-estimación se debe a que en los cálculos en grande escala, se toman en cuenta valores de presión atmosférica de puntos que se encuentran detrás de las grandes montañas donde hay valores de presión más bajos que en la costa. Bakun sugiere que éste sea el caso para las costas del sur de California y norte de Baja California. A pesar de que los resultados del estudio actual confirmaron la posibilidad de error en los índices de cartas meteorológicas, es claro que estos índices son apropiados para la zona y pueden ser usados con una corrección para analizar la variabilidad de la surgencia en la zona de este estudio. Pero también es claro que este error va a afectar los resultados cuando se estudie una variabilidad espacial, como en el caso de calcular rotacionales o de hacer comparaciones con otras zonas.

Corrientes, Aspectos Generales

La posición de la estación anclada donde se tomaron los perfiles de corriente (Fig. 2) se encontraba a 5 Km hacia el sur-suroeste de Punta Colonet. Al norte de la Punta se puede apreciar (Fig. 1) que la batimetría y la línea de costa en los primeros 10 Km tienen una orientación norte-sur. En cambio al sur de Punta Colonet, la batimetría y la línea de costa presentan otra orientación la cual está 30° hacia la izquierda con respecto al norte. Dado que todo el estudio se organizó tomando en cuenta la batimetría y la línea de costa al sur de Punta Colonet las corrientes se descompusieron en componente a lo largo de esa línea de costa y perpendicular a ella. Todo el análisis de las corrientes se realiza con esas componentes aunque las corrientes promedio y en grandes rasgos se analizan también en la dirección norte-sur.

En el perfil medio de las corrientes (Fig. 23) se observa que ambas componentes, paralela y perpendicular a la costa, disminuyen con profundidad, presentando el mayor gradiente entre los 15 y 25 metros, que es la profundidad donde oscilaba -

la posición de la termoclina (Fig. 10). Con esta descomposición de las corrientes se ve que ambas componentes son del mismo orden, siendo un poco mayor la componente a lo largo de la costa. Otra característica es que las dos componentes presentan solamente valores negativos en todo el perfil, cuando era de esperar se cierta compensación en el flujo normal a la costa que es lo que se ha encontrado en otras zonas de surgencia, como en Oregon y el noroeste de Africa (Smith 1974, Johnson et al 1975).

En los perfiles medios de las componentes norte-sur y este-oeste (Fig. 24) se puede ver que en realidad la corriente era muy dominante por la dirección hacia el sur y que la componente este-oeste es muy pequeña. En la Fig. 10, se observa que la corriente norte-sur presentó casi siempre valores negativos, o sea corrientes hacia el sur. Sólo entre las 6 y 12 horas del día 11 se presentaron valores de corrientes hacia el norte abajo de los 30 m de profundidad. Estos valores de corriente hacia el norte fueron muy débiles, menores de 10 cm/seg, y estuvieron asociados con un marcado debilitamiento de la corriente hacia el sur en toda la columna de agua. El día 10 a las mismas horas que el día 11, también hay un debilitamiento de la corriente hacia el sur, pero no fué tan pronunciado como el del día 11 por lo que no se alcanzó a presentar la corriente hacia el norte. Estas intensificaciones de la corriente hacia el sur, y la presencia de corrientes hacia el norte, parecen asociadas con las oscilaciones de la termoclina. Se observa que cuando la termoclina desciende, la corriente hacia el sur se intensifica (Fig. 10). En cambio cuando la termoclina asciende, la corriente hacia el sur es más débil, llegándose a presentar corriente hacia el norte cuando el ascenso de la termoclina es mayor.

Las oscilaciones de la corriente y de la termoclina pueden deberse a dos causas. Una de ellas podría ser debido a oscilaciones horizontales del núcleo de la corriente hacia el sur, el cual está asociado con la surgencia. La otra causa podría ser oscilaciones en el tiempo de la corriente en toda la sección normal a la costa. En todo caso, estas variaciones de la corrien

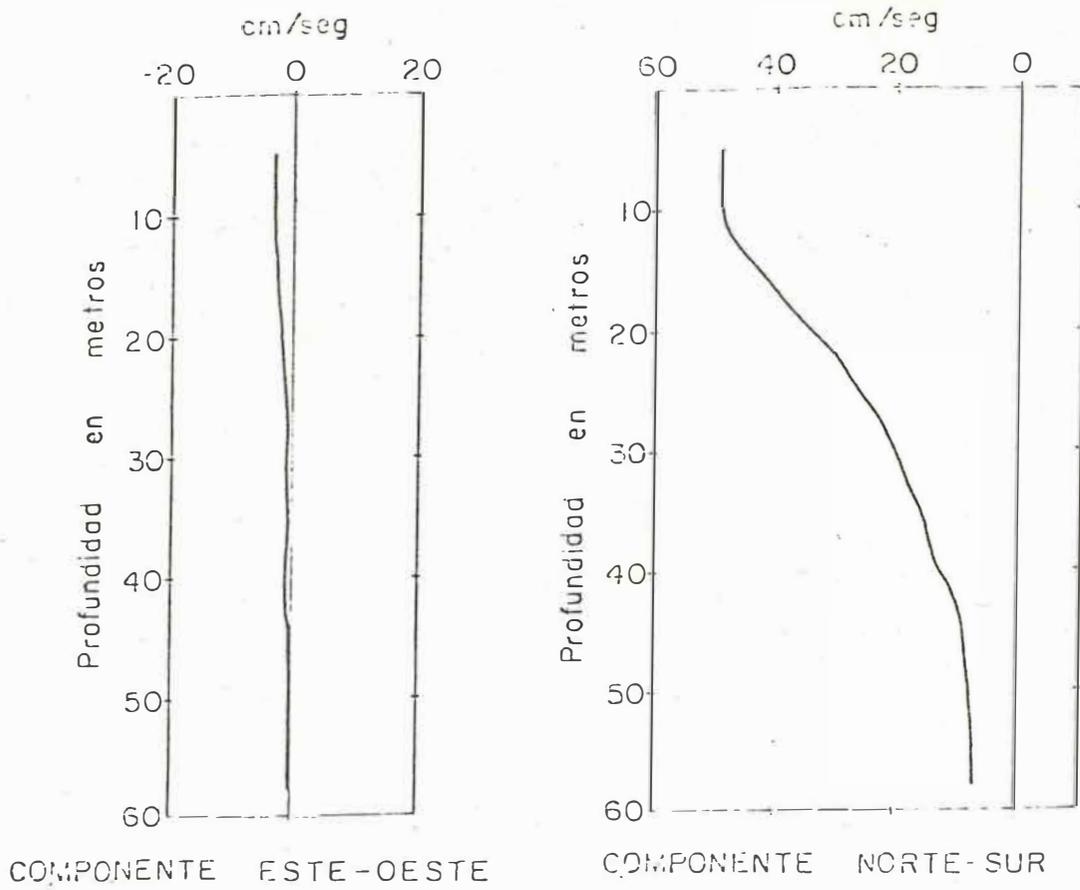


Fig. 24. Perfiles promedios de corrientes en la plataforma continental en Punta Colonet, junio de 1976.

te estan asociadas con los fenómenos de variación diurna del viento, mareas, mareas internas y período inercial, sin poder definir con tan pocos datos cual de ellos es el más importante. Por lo anterior se puede deducir que se tenía una corriente media en una sola dirección en toda la columna de agua y que esta dirección estaba influida por la Punta Colonet y las características topográficas al norte de la Punta. Claro que en lances individuales si existía flujo hacia el norte y hacia el este a algunas profundidades como muestran las figuras 10, 11 y 12. También es claro que existe una asociación entre las variaciones en la intensidad de la corriente y las oscilaciones de profundidad de la termoclina.

En la comparación con los cálculos geostroficados se encontró que la corriente medida directamente era mucho mayor en la superficie y con un gradiente mayor que la corriente geostrofica (Fig. 25), indicando otra clase de movimientos con una probable contribución inducida por el viento. Halpern (1974) encuentra una situación semejante en el noroeste de Africa indicando que se trata en la superficie de movimientos como giros o corrientes barotrópicas ageostroficadas.

Análisis de las Variaciones Diurnas y Semidiurnas de las Corrientes.

Las gráficas 11, 12 y 13, muestran las series de tiempo de los perfiles de corrientes. En general las corrientes disminúan con la profundidad. La componente V y la rapidez muestran claramente una variación diurna. Esta variación diurna en la corriente parece ser originada en la magnitud y no en la dirección, ya que la amplitud de estas variaciones es similar en la componente V y en la rapidez mientras que la componente U casi no la manifiesta. Las causas de esta variación diurna pueden ser, entre otras, el viento, el cual se vió que presenta una fuerte variación en ese período y además gira en el mismo sentido de la corriente, como se verá más tarde. Otra cau-

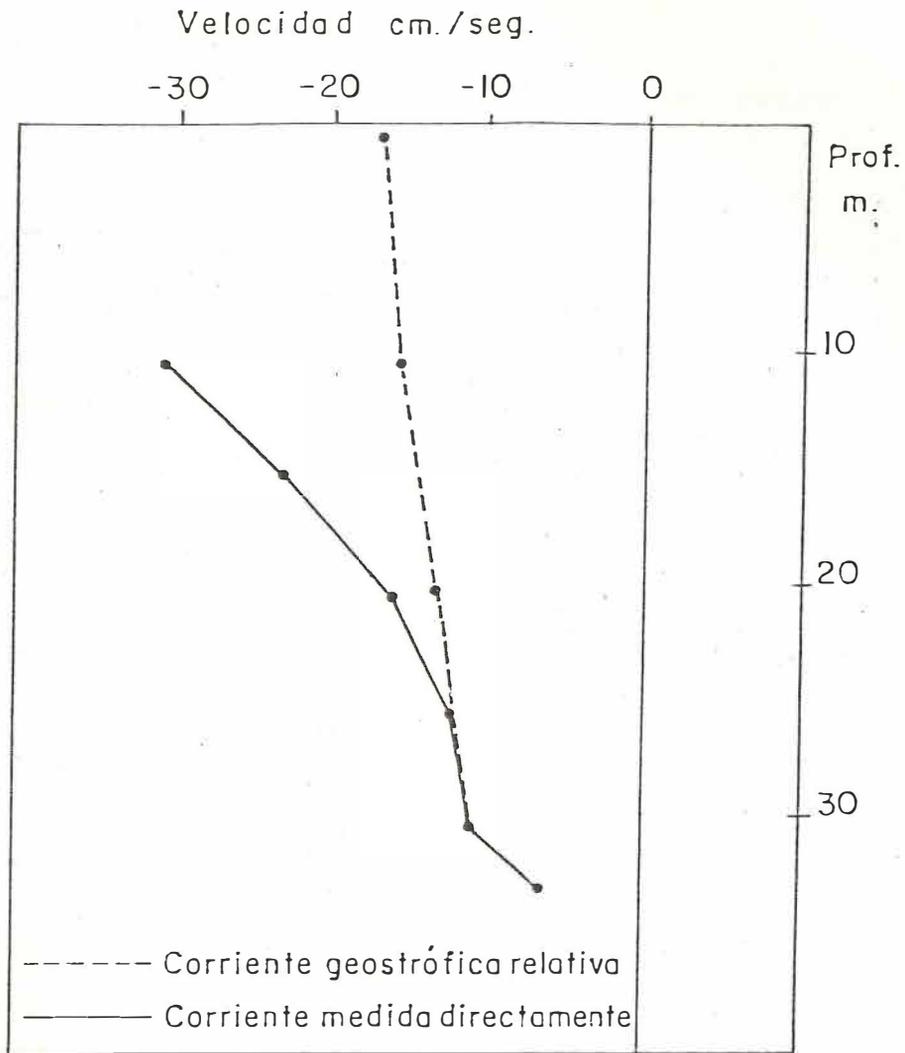


Fig. 25. Comparación entre la corriente medida directamente en la estación anclada y la corriente obtenida de cálculos geostróficos. La corriente directa es el promedio de las seis horas durante las cuales se realizó el muestreo hidrográfico de las dos estaciones.

sa de la variación diurna en las corrientes puede ser los efectos de la marea, la cual en estas latitudes es mixta con una contribución casi igual en ambas frecuencias, esta es del orden de 5 cm/seg. Una tercera causa de la variación de período diurno en las corrientes es asociada al período inercial, el cual para esta latitud (30°) es aproximadamente diurno. También es importante tomar en cuenta el efecto de la marea interna (Fig. 10), la cual presentó una variación diurna muy marcada.

Para analizar mejor esta frecuencia diurna y además la semi diurna que se sabe es introducida al sistema por las mareas, se hacen ajustes de senos con estas frecuencias, para las corrientes a diferentes profundidades. Las profundidades analizadas son 10, 20, 30 y 40 metros. Para la profundidad de 10 m se hace también un análisis espectral con una transformada rápida de Fourier ya que es la única profundidad de las escogidas que tiene mayor cantidad de datos. El número de horas muestreadas es aún pequeño, por lo que se aplica el método de predicción de Wiener, (Claerbout, 1976) para tener cuando menos 4 períodos diurnos de datos y así poder obtener un espectro con mayor definición en las frecuencias de importancia de libertad (Fig. 15) los cuales concuerdan bien con los resultados de los ajustes de senos y con las elipses calculadas con ellos (Fig. 16). En estos análisis de frecuencias se puede ver que las elipses diurnas siempre giraron en sentido de las manecillas del reloj lo que indica una concordancia con el viento y con la acción de la fuerza de Coriolis. Es claro que la frecuencia diurna es dominante del sistema, ya que en general tiene una amplitud mayor (Fig. 17).

A los 10 metros puede verse por el espectro rotacional que solo es importante la frecuencia diurna, ya que es la que tiene la mayor parte de la energía y que en otras frecuencias no

hay picos significantes. Incluso en los ajustes de senos para rapidez y las componentes, se puede ver que en la frecuencia semidiurna a los 10 m es de una amplitud muy pequeña (Fig. 17). La variación de la amplitud de la frecuencia diurna con profundidad es clara en la rapidez (Fig. 17), ya que esta decrece paulatinamente hacia el fondo, pero en las elipses, o en las componentes no aparece claro, ya que la elipse a 20 m de profundidad se sale de la secuencia (Fig. 16). Esto implica el que a esa profundidad haya otra clase de movimientos -- que causen una contaminación o dispersión hacia otras frecuencias. Esto se comprobó obteniendo los espectros de U y V para esta profundidad (Fig. 26). Los espectros no son muy representativos, porque el número de datos es muy pequeño, pero dan una idea de la dispersión que hubo de energía hacia otras frecuencias. Se infiere que esta dispersión a esa profundidad se deba a la mayor variabilidad que presentan las corrientes alrededor de la termoclina, y a las oscilaciones que presentaba esta termoclina la cual estaba centrada a una profundidad cercana a los 20 m.

Las variaciones de la amplitud de la frecuencia semidiurna con profundidad son pocas, en realidad esta amplitud se -- conserva casi constante en los ajustes hechos a las series de rapidez, solo en la serie a 10 metros (Fig. 17) cambia presentándose con muy poca amplitud. Siendo las mareas la única -- fuerza de importancia que mete energía en el sistema con frecuencia semidiurna, es claro que la amplitud de variancia en esta frecuencia va a ser más uniforme en la columna de agua. Tomando en cuenta que la marea introduce una cantidad de energía similar en ambas frecuencias, es de esperarse que en toda la columna, la amplitud de la frecuencia diurna inducida por la marea sea casi igual a la amplitud de la frecuencia semidiurna, o sea de 5 cm/seg (Fig. 17). Pero a 10 m tenemos amplitudes en la rapidez de más de 20 cm/seg en dicha frecuencia, lo que indica que hay aportaciones adicionales además de la marea en la frecuencia diurna. Una de estas aportaciones es el viento con su período diurno. Pero lo que más contribu

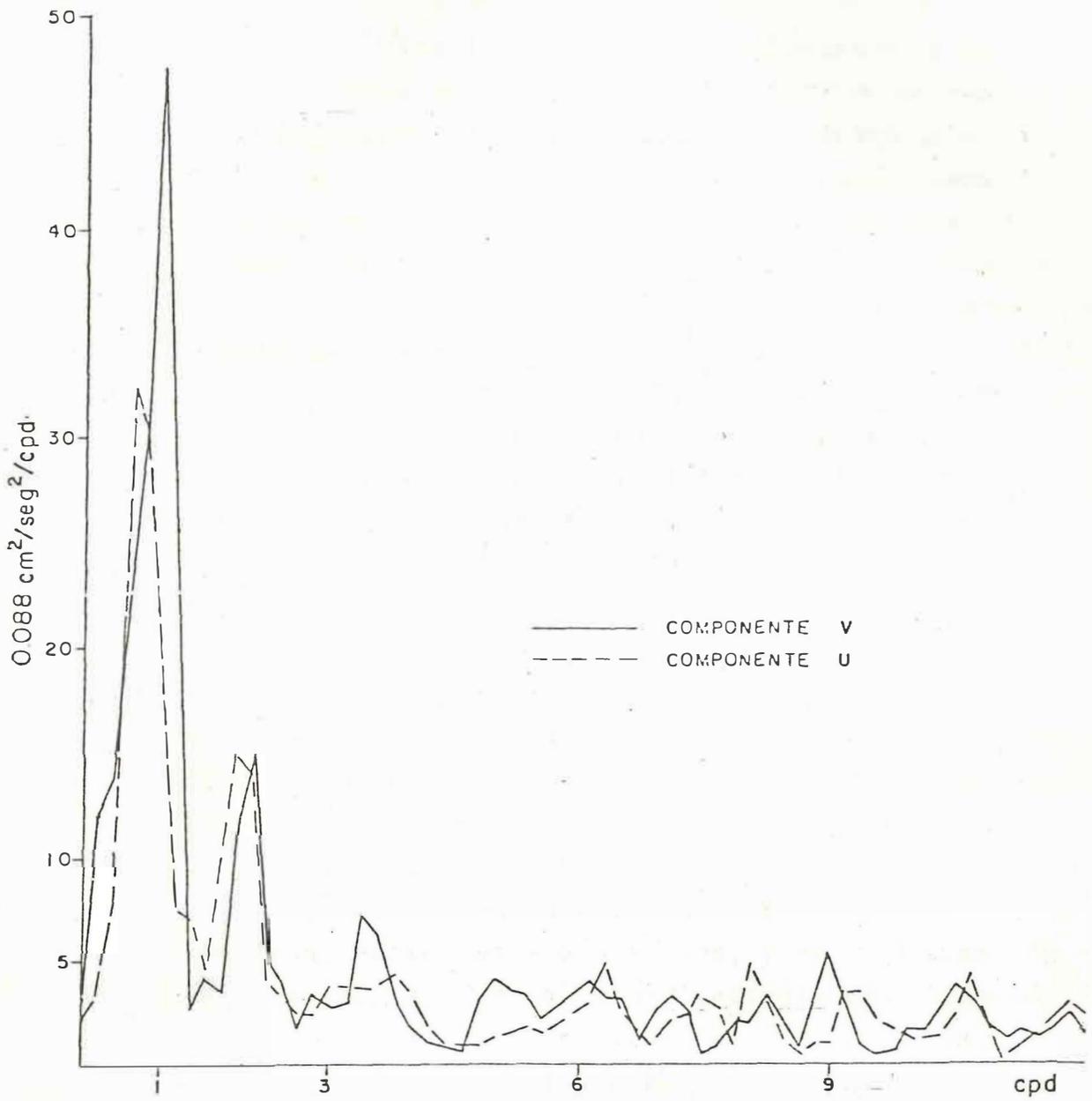


Fig. 26. Espectro de la corriente a 20 m de profundidad.

isostático. El desequilibrio se anula ~~con~~ ~~des~~ de la superficie cerca de la costa (Smith, 1964). Con los datos -- disponibles para la zona de este estudio ~~se hacen~~ ~~comparaciones~~ y cálculos de correlación, encontrándose que ~~no~~ ~~existe~~ coherencia entre las series de viento a lo largo de la costa y las series de nivel del mar. Esta ausencia de ~~coherencia~~ es tanto en variaciones estacionales como ~~de orden de días~~.

Para comparar las variaciones estacionales se ~~utilizaron~~ los datos de altura del mar del año de ~~1964~~ ~~filtrados~~ para extraerle la marea y corregidos por presión atmosférica. Por otro lado se utilizaron los índices de ~~superficie~~ ~~de~~ ~~se~~ mismo año, proporcionados por Bakun (comunicación personal), como representantes del viento a lo largo de la ~~zona~~. ~~En~~ estas -- dos series no se observó correspondencia (Fig. 18) y la correlación calculada fue menor que 0.2. Para ~~comparar~~ las variaciones del orden de días se utilizó la ~~serie~~ ~~de~~ ~~viento~~ obtenida en el estudio y los datos de nivel ~~de~~ ~~se~~ ~~filtrados~~ y corregidos por presión para los mismos días ~~de~~ ~~muestra~~ de -- vientos. Entre estas series tampoco se ~~observó~~ correspondencia y la correlación calculada fue de 0. Por lo ~~que~~ ~~se~~ deduce que no hay coherencia entre las dos ~~series~~, ni ~~estacional~~ ni del orden de días.

Al parecer la buena correlación ~~encuentra~~ ~~en~~ ~~las~~ costas de Oregon, entre estas dos series, y en ~~general~~ ~~al~~ ~~norte~~ de San Francisco se debe al comportamiento ~~de~~ ~~los~~ ~~factores~~ que afectan la variación del nivel del mar. ~~La~~ ~~parte~~ ~~nórtica~~ de los cambios de nivel es afectada principalmente ~~por~~ ~~las~~ causas, una es el acomodo de masas de agua ~~movidas~~ ~~por~~ transporte debido a las corrientes, y la otra ~~en~~ las ~~variaciones~~ de densidad ocasionadas por efectos de ~~contaminación~~ solar (Pattullo et al 1955). La latitud de San Francisco ~~parece~~ -- ser el límite entre dos tendencias, al ~~norte~~ la ~~evaporación~~ es menor que la precipitación, ocurriendo ~~el~~ ~~contrario~~ al sur (Reid et al, 1958), también al norte hay ~~un~~ ~~cambio~~ ~~de~~ ~~sentido~~ de los vientos dominantes durante los ~~meses~~ ~~invernales~~, mien

tras que al sur los vientos dominantes se conservan hacia el ecuador, aunque con menor persistencia (Bakun, 1975). Al norte de ese límite imaginario se observa un cambio en el sentido de las corrientes, las cuales en invierno son hacia el polo (Huyer et al, 1975), en cambio al sur la corriente de California se conserva en general hacia el ecuador, aunque también sin la persistencia del verano (Sverdrup et al, 1942).

Se observa que el nivel del mar al norte de San Francisco tiene un máximo en invierno, en la primera quincena de diciembre, coincidiendo con la época en que no hay surgencias y que el viento y la corriente son dominantes hacia el polo, el mínimo se presenta en verano, concordando con la época de mayor surgencia (Huyer et al, 1975). Al sur de San Francisco se tiene el máximo en el nivel del mar en septiembre coincidiendo con las temperaturas más elevadas en las capas superficiales del océano y el mínimo en febrero o marzo, cuando las temperaturas del mar son más frías (Pattullo et al, 1955). Por todo lo anterior se ve que al norte de San Francisco los cambios de nivel del mar responden mayormente a los cambios en vientos y corrientes, en cambio hacia el sur el nivel del mar responde principalmente a los cambios de densidad provocados por calentamiento. Esto es en variaciones estacionales, por lo que -- respecta a variaciones de más corto período no se conoce el comportamiento al sur de San Francisco, aunque por los datos de este estudio no existe una respuesta aparente del nivel del mar a variaciones de corto período del viento a lo largo de la costa.

En Oregon al analizar las variaciones del nivel de mar en la costa se asume que lejos de ésta el nivel de mar es fijo y que las variaciones en la costa en realidad corresponden a inclinaciones del nivel del mar entre un punto alejado y otro sobre la costa. Niels Christensen (comunicación personal) hace el análisis de las variaciones de nivel del mar en dos puntos, uno en la costa (Ensenada) y otro lejos de la costa (Isla Guadalupe) encontrando que estacionalmente no existe correlación

entre viento y la diferencia de nivel entre los dos puntos. -- Con los datos de este estudio se hizo un análisis similar para variaciones de corto período encontrándose que las correlaciones son malas. Esto nos lleva a suponer que las variaciones del nivel del mar en esta zona no están relacionadas directamente con el viento en forma sencilla, y que deben ser otros factores los que influyen en forma determinante en las variaciones de corto período del nivel del mar.

Escalas de Tiempo en la Variación de la Surgencia para la Zona de Punta Colonet.

Se vió en la revisión bibliográfica hecha en la introducción que la surgencia presenta dos escalas de tiempo características. Una de éstas es la anual (Smith 1968, Bakun 1973), la cual es completamente periódica. La otra, es del orden de días y se le ha dominado "evento" (Halpern 1975, Bakun 1975). Un evento es una presentación o intensificación de la surgencia durante un período de 3 a 10 días. La escala de tiempo -- anual es muy obvia, por eso al obtener el espectro con todos los datos de 3 años y medio se encontró un pico significativo en esa frecuencia (Fig. 19). La escala de tiempo de días fue analizada primero con los espectros de los vientos locales. -- Estos espectros mostraron un pico entre 0.1 y 0.25 cpd, el -- cual representa el período de "eventos" de esta zona (Fig. 8). Dado que los datos son pocos para analizar con detalle este pico, se utilizan los índices de Bakun para obtener espectros de 20 series con dos meses de duración cada una. El pico en frecuencia de "eventos" ($0.1 < f < 0.25$) solo se ve en algunas de las series, siendo su posición muy variable. Juntando todas las series, se obtiene un espectro promedio para los tres años con 40 grados de libertad, además se obtiene también un espectro representativo de los meses de mayo y junio (Fig. 20), que son los meses de surgencia más intensas en la zona. De estos espectros, se puede deducir que no hay pico significativo en --

las frecuencias que se analizan. También se puede ver que la distribución de energía aumenta hacia bajas frecuencias con un escalón en .25 cpd. Además, se ve que tomando la frecuencia de .25 cpd como límite se presenta mucha más energía en bajas frecuencias que en altas frecuencias.

Esta escala de tiempo también fue analizada por Bakun y Nelson (1975) calculando porcentajes de persistencia de un "evento". En este estudio Bakun encontró que la persistencia de un "evento" era de consideración solo durante 4 días. Bakun y Nelson (1975) obtuvieron también espectros de segmentos de series de índices tomados cada 6 horas. Ellos ponen como representativo un espectro que abarca 18 semanas de datos, desde el 27 de febrero hasta el 10. de julio de 1972. Con este espectro encontraron que la energía de las frecuencias del orden de "eventos", viene en una gama amplia, que va desde 23 días hasta varias semanas. Smith (1974), hace un análisis espectral de una serie de vientos de 49 días encontrando un pico notable en una banda de frecuencia entre 0.1 y 0.2 cpd. Dentro de esta banda se vió gran coherencia entre vientos, corrientes y nivel del mar, que son también índices de la variación de la surgencia.

Todo lo anterior lleva a pensar que en el viento que puede producir surgencia, no hay un período característico del orden de días, más bien la atmósfera provee la mayor cantidad de energía en una gama de períodos que van desde 4 a 30 días para las frecuencias aquí analizadas y que para frecuencias entre .025 cpd y 1. cpd la energía es mucho menor.

CONCLUSIONES

Los vientos dominantes presentaron una dirección favorable para el desarrollo de surgencias durante casi todo el período de observación. La dirección promedio del viento a 2 m estaba desviada 14° hacia la izquierda de la dirección del viento a 10 m. Esto evidenciaba el efecto de fricción según la teoría de la espiral de Ekman. Las brisas estaban muy desarrolladas y se encontró una alta correlación entre la amplitud de la serie filtrada del viento paralelo a la costa.

Los espectros rotacionales mostraron en la frecuencia diurna una rotación hacia las manecillas del reloj tanto para las corrientes, como para los vientos. Se apreció con esto el efecto de la fuerza de coriolis en el sistema de brisas y en las variaciones diurnas de la corriente.

La corriente tuvo una dirección muy dominante hacia el sur en toda la columna de agua. Esta dirección de la corriente fue provocada por la influencia de Punta Colonet y la batimetría al norte de la punta.

La corriente presentó grandes fluctuaciones las cuales estaban íntimamente asociadas con fluctuaciones de profundidad de la termoclina. Estas fluctuaciones de la corriente tuvieron mayor amplitud en la dirección norte-sur. El gradiente de las corrientes medidas directamente fue mucho mayor que el gradiente encontrado por geostrofia. Estas corrientes de mayor intensidad en la capa superficial son debidas probablemente a la influencia del viento y a movimientos como giros u otras corrientes ageostróficas.

La frecuencia diurna es dominante del sistema de corrientes. La magnitud de la componente de esta frecuencia decreció paulatinamente con profundidad. La componente semidiurna fue de menor magnitud y ésta se conserva casi constante en toda la columna de agua. La frecuencia diurna fue introducida al sistema por varios factores como son la variación diurna del viento, las mareas internas y el período inercial, el

cual fue de 24 horas para esta latitud. Se infiere que el pe ríodo inercial fue un factor preponderante. La frecuencia se midiurna de las corrientes fue introducida aparentemente solo por las mareas.

Se encuentra que las variaciones del viento y nivel del mar no están correlacionadas, ni en períodos largos del orden estacional, ni en períodos cortos del orden de días. Esto -- en principio separa el modelo de Oregon donde estas 2 varia-- ciones están muy correlacionadas.

Se encontró una alta correlación entre los índices de -- surgencia calculados de cartas meteorológicas y los índices -- calculados con el viento local. De esto se deduce que los ín dices de cartas meteorológicas son apropiados para la zona co mo una primera aproximación de la variabilidad temporal de la surgencia en esta área, pero no para estudios de variabilidad espacial.

Se observa que la escala de tiempo del orden de días - - (evento) no se presenta con mucha persistencia con un período determinado, más bien se observa dentro de una gama de períodos que va desde los 4 a 30 días, y para períodos menores de 4 días y mayores que un día la energía que aporta el sistema es relativamente menor.

BIBLIOGRAFIA

- AMADOR B. A. (1975) Características de las aguas de surgencia adyacentes a la Bahía de Todos Santos, U.A.B.C., Escuela Superior de Ciencias Marinas, Tesis Profesional, 50 pp.
- ARGOTE E. M. L. (1978) Aspectos Físicos de surgencias en un -- área cerca de Punta Colonet, B. C., Tesis de Maestría, CICESE, 51 pp.
- BAKUN A. (1973) Coastal upwelling Indices, west coast of North America 1946-71, NOAA Technical Report NMFS SSRF - 671, 103 pp.
- BAKUN A. (1975) Daily and weekly upwelling indices west Coast of North America 1946-73, NOAA Technical Report NMFS SSRF - 693.
- BAKUN A. and C. S. NELSON (1975) Climatology of upwelling-related processes off Baja California. Presentado en el simposio de Ciencias Pesqueras, en la Escuela Superior de Ciencias Marinas de la U.A.B.C., 16-22 de Febrero de 1975.
- CLAERBOUT J.F. (1976) Fundamental of Geophysical data Processing, Mc Graw-Hill, 274 pp.
- COTA V. A. (1971) Estudio Oceanográfico Químico de la surgencia localizada en la zona de Punta Banda, B. C., U.A.B.C., Escuela Superior de Ciencias Marinas, Tesis Profesional, 62 pp.
- CHAVEZ G. M. C. (1975) Algunas condiciones de surgencia localizada en la zona de Punta Banda, B. C., U.A.B.C., Escuela Superior de Ciencias Marinas, Tesis Profesional, 73 pp.
- DAWSON E. Y. (1951) Upwelling and associated vegetation along Pacific Baja California Mexico, Journal of Marine Research, 10.
- DÜING W. and D. JOHNSON (1972) High Resolution current profiling in the strait of Florida, Deep Sea Research, 19, 259-274.
- ENFIELD D. B. (1970) A mesoscale study of coastal currents and upwelling off Peru, Tesis de Maestría, Oregon State University, 67 pp.
- GONELLA J. (1972) A rotary - component method for analysing meteorological and oceanographic vector time series. Deep Sea Research, 19, 833-846.
- GROVES G. W. (1955) Numerical Filter for discrimination against tidal periodicities, Transaction American Geophysical Union, 36, 6.
- HALPERN D. (1974) Observations of the Deepening of the Wind-Mixed layer in the Northeast Pacific Ocean, Journal of Physical Oceanography, 4, 3: 454-466.

- HALPERN D. (1974) On Near Surface wind observations, CUEA news letter, 5, 5.
- HALPERN D. (1977) Description of wind and of upper ocean current and temperature variations on the continental shelf off Northwest Africa during March and April 1974. Journal of Physical Oceanography, 7, 3, 422-430.
- HUBBS C.L. (1968) Data reports, Surface water at shore stations U.S. Coast, Scripps Institution of Oceanography, 69-14.
- HUYER A., R.L. SMITH and R. D. PILLSBURY (1974) Observations in a coastal upwelling region during a period of variable wind (Oregon coast, July 1972) Tethys, 6, 1-2.
- HUYER A., R.D. PILLSBURY and R.L. SMITH (1975) Seasonal variations of the alongshore velocity field over the continental shelf off Oregon, Limnology and Oceanography, 20, 1.
- HUYER A. (1976) A comparison of upwelling events in two locations: Oregon and NE Africa, Journal of Marine Research, 34, 4.
- JOHNSON D.R., E. D. BARTON, P. HUGHES and C.N.K. MOOERS (1975) Circulation in the Canary Current upwelling region off Cabo Bojador in August 1972, Deep Sea Research, 22, 547-558.
- MITTELSTAEDT E. and K.P. KOLTERMANN (1973) On the currents over the shelf off Cap Blanc in the Northwest African upwelling area, Deutsches Hydrographisches Zeitschrift, 26: 193-215.
- PATULLO J., W. MUNK, R. REVELLE and E. STRONG (1955) The seasonal oscillation in sea level, Journal of Marine Research, 14, 1.
- REID J.L., G. L. RODEN, and J.G. WYLLIE (1958) Studies of the California Current System, Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Progress Report 6, 27-46.
- RODEN G.L. (1971) Large scale upwelling of northwestern Mexico, Journal of Physical Oceanography, 2, 184-189.
- RYTHER J.A. (1969) Photosynthesis and fish production in the sea, Science (Washington, D.C.) 166, 72-76.
- SHAFFER G. (1972) A theory of time dependent upwelling induced by spatially and temporally - varying wind with emphasis on the effects of a seabreeze - landbreeze cycle. Kieler Meeresforsch, 28, 139-161.
- SMITH R. L. (1968) Upwelling, Oceanographic and Marine Biology, Annual Review, 6, 11-46.

- SMITH R.L., D. B. ENFIELD, T.S. HOPKINS and R. D. PILLSBURY - (1971) The circulation in an upwelling ecosystem: The Pisco cruise, *Investigación Pesquera*, 35, 1, pp. 9-24.
- SMITH R.L. (1974) A description of current, wind and sea level variations during coast upwelling off the Oregon Coast, July-August 1972. *Journal of Geophysical Research*, 79 435-443.
- STEVENSON M. R. (1974) Current Measurement in a coastal upwelling zone off Baja California. Presentado en el V Congreso Nacional de Oceanografía, 22-25 de Octubre de 1974.
- SVERDRUP H.U. (1937) On the process of upwelling, *Journal of Marine Research*, 1, 1.
- SVERDRUP H.U., M.W. JOHNSON and R.H. FLEMING (1942) *The Oceans: their physics, chemistry and general biology*, Prentice-Hall Inc., 1087 pp.
- WALSH J.J., J.C. KELLEY, T.E. WHITLEDGE and J.J. MACISAAC (1974) Spin-up of the Baja California upwelling ecosystem, *Limnology and Oceanography*, 553-572.
- WOOSTER, W.S. and J.L. REID (1963) Eastern boundary currents, in *The Sea* (Editor) M.N. Hill, 2, 253-280.