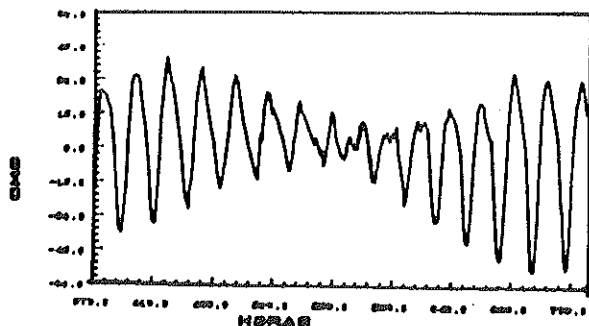


**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE
BAJA CALIFORNIA**

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS



**ANALISIS DE LA MAREA Y APLICACION DE UN MODELO
NUMERICO PARA LA SIMULACION DE LOS CAMPOS
DE VELOCIDAD Y NIVEL DEL MAR EN EL PUERTO DE
DOS BOCAS, TABASCO**



TESIS
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
OCEANOLOGO
PRESENTA

Gomero Bennet Leguizamo

ENSENADA, B.C., NOVIEMBRE DE 1990

RESUMEN.

Se realizó un análisis de la Marea en el puerto de Dos Bocas, Tabasco, y se estudió el efecto del viento y presión atmosférica sobre el nivel medio diario del mar; además se realizaron simulaciones de los campos de velocidad de las corrientes producidas por la marea en la dársena del puerto, estimación de los esfuerzos del viento en la zona y simulación de evacuado de contaminantes (flotantes).

Se encontró que la marea es de tipo mixta, predominantemente diurna, con rango medio de 64 centímetros.

El 50.19% de los vientos proviene entre el Norte y el Nor-Este, la magnitud de las velocidades fluctúa entre 1.7 y 23.40 mts/seg promedio diario, encontrándose un máximo de 32.2 mts/seg a las 13:00 horas del día 6 de febrero.

Los eventos meteorológicos (viento y presión atmosférica), presentaron cierta influencia sobre el nivel medio diario del mar diario en las bandas de 12, 4.8, 3 y 2 días de período, siendo el viento el que ocasiona mayor efecto.

En la simulación de las corrientes por marea, se encontró que sus magnitudes fluctúan entre -0.82 y 1.12 cms/seg.

Los mayores esfuerzos y transportes por el viento, corresponden a los del Nor-Oeste y Oeste.

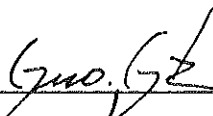
En la simulación de evacuado de contaminantes, se encontró que aquellos que se ubican cercanos a la boca de la dársena, son fácilmente desalojados durante las mareas vivas.

ANALISIS DE LA MAREA Y APLICACION DE UN MODELO NUMERICO
PARA LA SIMULACION DE LOS CAMPOS DE VELOCIDAD Y NIVEL
DEL MAR EN EL PUERTO DE DOS BOCAS, TABASCO.

TESIS

QUE PRESENTA:

HOMERO BENNET LEGUIZAMO



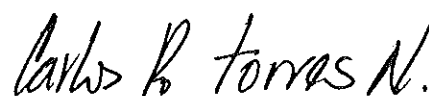
PRESIDENTE DEL JURADO

OC. GUILLERMO GUTIERREZ DE VELASCO SAN ROMAN



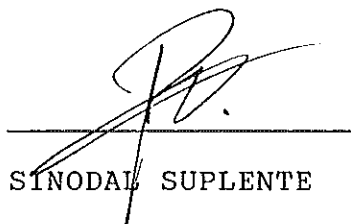
SINODAL PROPIETARIO

M.C. RENE PINET PLASENCIA




SINODAL PROPIETARIO

M.C. CARLOS TORRES NAVARRETE



SINODAL SUPLENTE

OC. JORGE REYES RODRIGUEZ
DE LA GALA



SINODAL SUPLENTE

OC. JUAN IGNACIO GONZALEZ
NAVARRO

NOVIEMBRE 1990

DEDICATORIA

EL PRESENTE TRABAJO ES DEDICADO:
A QUIENES CONOCEN SU DEUDA A PAGAR,
A QUIENES DICEN: "HARE LO MEJOR DE MI",
A QUIENES LO IMPOSIBLE ES FALSO,
A QUIENES AMAN SU VIDA Y LA DE LOS DEMAS.

AGRADECIMIENTOS

SE AGRADECE LA COLABORACION A LAS PERSONAS QUE DE ALGU-
NA U OTRA MANERA, COLABORARON EN LA ELABORACION DE LA PRESENE
TE TESIS, NO MENCIONO NOMBRES, POR QUE CONFIO EN LA SINCERI-
DAD PROPIA DE CADA UNA DE ELLAS.

INDICE

	Pag.
I. INTRODUCCION	1
I. I. ANTECEDENTES	4
I. II. OBJETIVO	5
I. III. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO	5
II. METODO	6
II. I. TOMA DE DATOS	6
II. II. ANALISIS ESPECTRAL	8
II. II.I. ANALISIS ESPECTRAL CRUZADO	9
II. III. ANALISIS ARMONICO	10
II. IV. MODELAJE NUMERICO	11
III. RESULTADOS	14
IV. DISCUSIONES	21
V. CONCLUSIONES	28
VI. OBSERVACIONES	30
VII. BIBLIOGRAFIA	32
VIII. ANEXO I	37
IX. ANEXO II	41

LISTA DE TABLAS

Tabla .I. Resultados de periodos de calma y tormenta en Dos Bocas, Tab. (tomado de RAZO, 1983).

Tabla .II. Resultados del análisis armónico.

Tabla .III. Porcentaje y velocidad promedio del viento en Dos Bocas, Tab.

Tabla .IV. Principales componentes de la marea de los puertos del Golfo de México (tomado de UNAM, 1979).

Tabla .V. Esfuerzos y transportes ocasionados por el viento en Dos Bocas, Tab.

LISTA DE FIGURAS

No.

- 1.- Croquis de ubicación de Dos Bocas, Tab.
- 2.- Croquis de ubicación de Dos Bocas, Tab.
- 3.- Croquis del area de estudio.
- 4.- Esquema de un segmento de cuenca.
- 5.- Mareograma del 24/Octubre/87 al 24/Noviembre/87.
- 6 (a, b, c).- Mapas cotidales de las componentes K1 y M2.
- 7.- Residuos del análisis armónico.
- 8.- Espectro del nivel del mar (datos horarios).
- 9.- Velocidad del viento.
- 10.- Rosa de vientos.
- 11.- Espectro de la velocidad del viento.
- 12.- Presión atmosférica.
- 13.- Espectro de la presión atmosférica.
- 14.- Nivel medio diario del mar en Dos Bocas, Tab.
- 15.- Nivel medio diario del mar en Coatzacoalcos, Ver.
- 16.- Espectro del nivel medio diario del mar de Dos Bocas,
Tab.
- 17.- Velocidad del viento (superior) y nivel medio diario
del mar (inferior) en Dos Bocas, Tab.
- 18.- Presión atmosférica (superior) y nivel medio diario del
mar (inferior) en Dos Bocas, Tab.
- 19.- Esquema de las caras transversales de los segmentos No.
1, No. 2 y No. 3.

SIMBOLOGIA Y ABREVIACIONES

cms= Centímetros.

kms= Kilómetros.

mts= Metros.

mt= Metro.

mts²= Metros cuadrados.

mts³= Metros cúbicos.

seg= Segundo.

hrs= Horas.

&= 'y' en Inglés.

kgs= Kilogramos.

%= Porcentaje.

$\int_{-\infty}^{\infty}$ = Integral de menos infinito a más infinito.

π = 3.141592.

e^{-i} = Exponencial compleja.

i = Raíz cuadrada de -1 , se utiliza para la representación matemática de los números complejos.

$\sum_{i=1}^N$ = Sumatoria desde $i=1$ hasta N .

dt = Derivada de t .

ϕ = Letra griega de nombre 'phi'.

ARCTAN= Arcotangente o inverso de la tangente de un ángulo.

γ = Letra griega de nombre 'gamma'.

α = Letra griega de nombre 'alfa'.

COS= Función coseno.

W= Oeste.

SIMBOLOGIA Y ABREVIACIONES

(Continuación)

Cic= Ciclos.

Log.= Logaritmo de base 10.

Dens. Esp(c).= Densidad espectral.

mbares= Milibares.

Sup.= Superior.

Inf.= Inferior.

>= Mayor que.

c. p.= Comunicación personal.

CICESE= Centro de Investigación Científica y Estudios
Superiores de Ensenada.

IIO= Instituto de Investigaciones Oceanológicas.

I. INTRODUCCION

En base a los programas de producción de petróleo crudo en el área Chiapas-Tabasco y Sonda de Campeche, y frente a la creciente demanda de exportación, Petroleos Mexicanos decidió desarrollar el puerto petrolero de Dos Bocas, Tabasco, con el fin de proporcionar los servicios de abastecimiento para el apoyo de las operaciones de exploración y explotación en los campos marinos, y además disponer de las instalaciones adecuadas para el almacenamiento, manejo y exportación de crudo (figura No. 1).

El desarrollo de una infraestructura portuaria requiere que se realicen estudios oceanográficos para su construcción además es sugerible la continuación de estos cuando se encuentra en funcionamiento, obteniéndose así información del impacto que se ocasiona al medio ambiente, como puede ser: la evolución de la línea de costa, los azolvamientos, y la circulación del agua en la dársena.

Una descripción cualitativa usada del fenómeno de la marea es considerar el perfil de equilibrio que una capa de agua en una tierra esférica tiene bajo la acción de un cuerpo productor de marea, ésta es la llamada "Teoría de Equilibrio de Mareas" por Darwin en 1898, en este modelo se describen las mareas como aquellas fluctuaciones aparentes a un observador viajando a lo largo de una línea de latitud constante a través de una capa de agua estacionaria y deformada (IPPEN 1966).



Figura No. 1

Croquis de ubicación (PEMEX, 1988).

En el océano la marea se manifiesta por corrientes y cambios periódicos en la posición de la superficie, estos sufren modificaciones en la vecindad de las costas, estrechos bahías y ríos. Los desplazamientos por la marea en el océano son del orden de 30 cms en la vertical, en las costas pueden ser hasta de 15 mts, por ejemplo en la bahía de Fundy, Canada (BEER, 1983).

El efecto de la marea oceánica ha sido estudiado desde tiempos pasados, Newton en 1687 demostró el proceso matemático del fenómeno de la marea relacionándolo con el principio de atracción gravitatoria, Laplace en 1775 confirma que las mareas eran debidas a la influencia de la luna y del sol sobre los océanos, formulando la teoría de la dinámica de mareas; Lord Kelvin (siglo XIX) inventa una computadora análoga para proveer de información acerca de las mareas a los tripulantes de embarcaciones navales y mercantiles, Darwin en 1883 elaboró el método del "Doble Punto" permitiendo realizar un análisis de las componentes de la marea oceánica.

El análisis de la marea permite obtener sus componentes para ser representada de manera matemática, y poder efectuar sus futuras predicciones. La importancia de conocerla tiene varias aplicaciones, por ejemplo: navegación en puertos, simulación de la hidrodinámica de cuencas oceánicas, además de la estimación de tiempos de evacuado de contaminantes (renovación de aguas) y como una factible fuente generadora de e-

lectricidad.

Se han elaborado diferentes métodos para su estudio, por ejemplo: el análisis de Fourier y el análisis armónico.

El análisis de Fourier descompone una función en espacio o tiempo en componentes senoidales que tienen frecuencias variables, amplitudes y fases; y la transformada de Fourier que es una función que permite la representación de las amplitudes y fases de cada frecuencia componente (BRACEWELL, 1989).

El análisis armónico permite simular la marea por medio de series trigonométricas, a partir de un registro se obtienen las amplitudes y fases de sus componentes de origen astronómico, en base a los datos obtenidos se tienen que resolver problemas como:

- 1) Dada una longitud de registro de marea, ¿Qué ondas de marea pueden ser separadas?.
- 2) Tener la seguridad de que el instrumento está correctamente calibrado durante la grabación del período.
- 3) Reconstruir a partir de un espectro de marea teórico, las ondas homólogas a esos grupos.
- 4) Tener las mejores constantes astronómicas fundamentales.

Existen factores que contribuyen en modificar la marea de origen astronómico, son la presión atmosférica y el viento.

Un viento soplando en la direcció*n* de propagació*n* de la onda de marea aumenta su amplitud, en cambio, soplando en sentido contrario la atenú*a*, llegando a anularla si esta es de poca importancia (SHORE PROTECTION MANUAL, 1984).

En lo concerniente a la presi*o*n atmosf*e*rica cabe recordar que por cada milibar que aumente o descienda la presi*o*n atmosf*e*rica, el nivel del mar desciende o aumenta aproximada*m*ente un centímetro (RODRIGUEZ, 1978), el aumento de la presi*o*n atmosf*e*rica dificulta la formació*n* de la onda de marea, en tanto que el descenso la facilita, así entonces un viento que sopla del mar hacia las costas y/o la baja presi*o*n localizada en ellas determina a veces levantamientos excepcionales del nivel del mar, que se sobreponen a la oscilació*n* de la marea astronó*m*ica (DEFANT, 1958).

I.I. ANTECEDENTES

DAMES & MOORE (1978), realizaron una colecció*n* de datos de oleaje, viento, incidencia de tormentas tropicales y bati*m*etrías existentes, presentando un desarrollo preliminar de los niveles del agua, estimació*n* del potencial de erosió*n*, y recomendaciones para protecció*n* de la misma (RAZO, 1983).

GLENN & ASSOCIATES (1979), presentan resultados de un aná*l*isis sobre el oleaje en presencia de tormentas y en condi*ci*ones de calma, así como la ocurrencia de los vientos deno-

minados "Nortes" en la región de Dos Bocas, Tabasco. Frecuentemente estos vientos se mueven rápidamente hacia el sur, a lo largo de la costa mexicana, soplando entre el Noroeste y el Noreste, con velocidades desde 96 kms/hora a 140 kms/hora reportan que los "Nortes" se presentan entre los meses de Octubre y Abril, excepcionalmente ocurren entre los meses de Mayo y Octubre, sus principales resultados son presentados en la tabla I (tomado de RAZO, 1983).

I.II. OBJETIVO

- a) Obtención de las constantes armónicas de la marea del puerto artificial de Dos Bocas, Tabasco.
- b) Simulación de los campos de velocidad en la dársena.
- c) Investigar la posible relación de la variación del nivel medio del mar con factores meteorológicos.
- d) Como objetivo secundario se simuló el evacuado de contaminantes flotantes y se estimaron los esfuerzos y tranportes ocasionados por el viento en la zona.

I.III. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

El puerto artificial de Dos Bocas, Tabasco, se localiza en la Sonda de Campeche, México, ubicado geográficamente a los 18° 26' grados de latitud Norte, y 93° 10' grados de longitud Oeste, localizado a 5 kms al norte de Paraíso, Tabasco, 4.5 kms al oeste de la barra de Dos Bocas, Tabasco (figura

TABLA .I. Periodos de calma y tormenta en Dos Bocas, Tabasco, Mèxico.

Perìodo	Tormenta duraciòn (hrs)	Calma duraciòn (hrs)
Diciembre-Febrero	698	1462
Marzo-Mayo	488	1720
Junio-Agosto	172	2036
Septiembre-Noviembre	491	1693

* Calma se define como el intervalo en el cual la altura de una ola significativa es continuamente menor a 2 metros. Una tormenta se define como el intervalo de tiempo durante el cual la altura de la ola significativa es continuamente igual o mayor a 2 metros (RAZO, 1983).

No. 2), y a 77 kms al oeste de Frontera, Tabasco.

La darsena artificial es de tipo Milan de 500 mts de ancho por 900 mts de longitud y un canal de acceso de 150 mts de ancho en la pantilla, ambos con 7 mts de profundidad y dos escolleras del tipo de enrocamiento de aproximadamente 1053 mts de longitud hasta la batimètrica de 6 mts (figura No. 3).

El clima de la regiòn es de tipo tropical, los vientos que prevalecen en la regiòn soplan del Nor-Noreste, Noroeste Norte, Este-Noroeste y Este-Sur-Este, predominando los del Nor-Noreste, sus velocidades fluctúan entre 2.0 y 5.0 mts/_seg, representando el 43.2%, sin embargo durante el periodo Septiembre-Marzo, los meses frios del año, es frecuente la invasiòn de aire polar continental de Estados Unidos. Los vientos asociados a estos frentes denominados "Nortes", son ocasionalmente muy fuertes, llegando a alcanzar velocidades de hasta 150 kms/hora (RAZO, 1983).

II. METODO

II.I. TOMA DE DATOS

El departamento de Oceanografía de PEMEX facilitò una serie de mediciones del nivel del mar comprendida del 01/Julio/87 al 31/Mayo/88 (figura No. 3 para ubicaciòn del limnìgrafo), mediciones promedio diario de la presiòn atmosfèrica y del viento (velocidad e incidencia) del 01/Octubre/87 al 31/

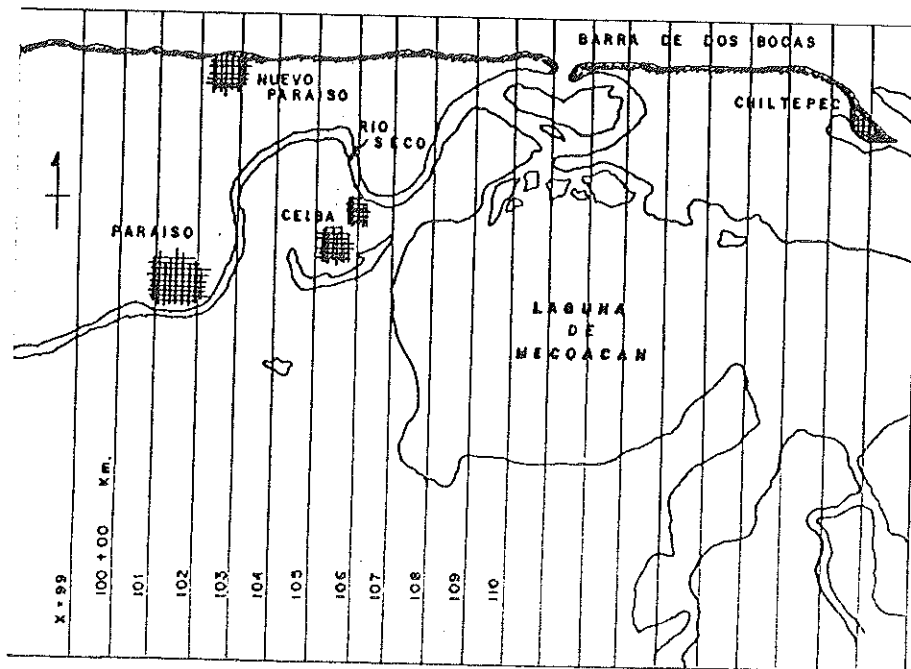
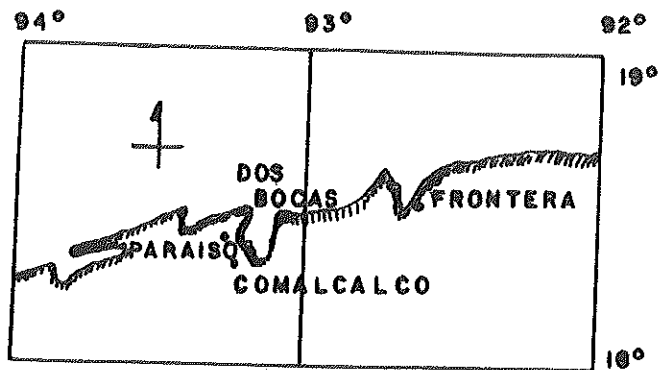


Figura No. 2

Croquis de ubicación (fuente, PEMEX sup., RAZO, 1983 inf.).

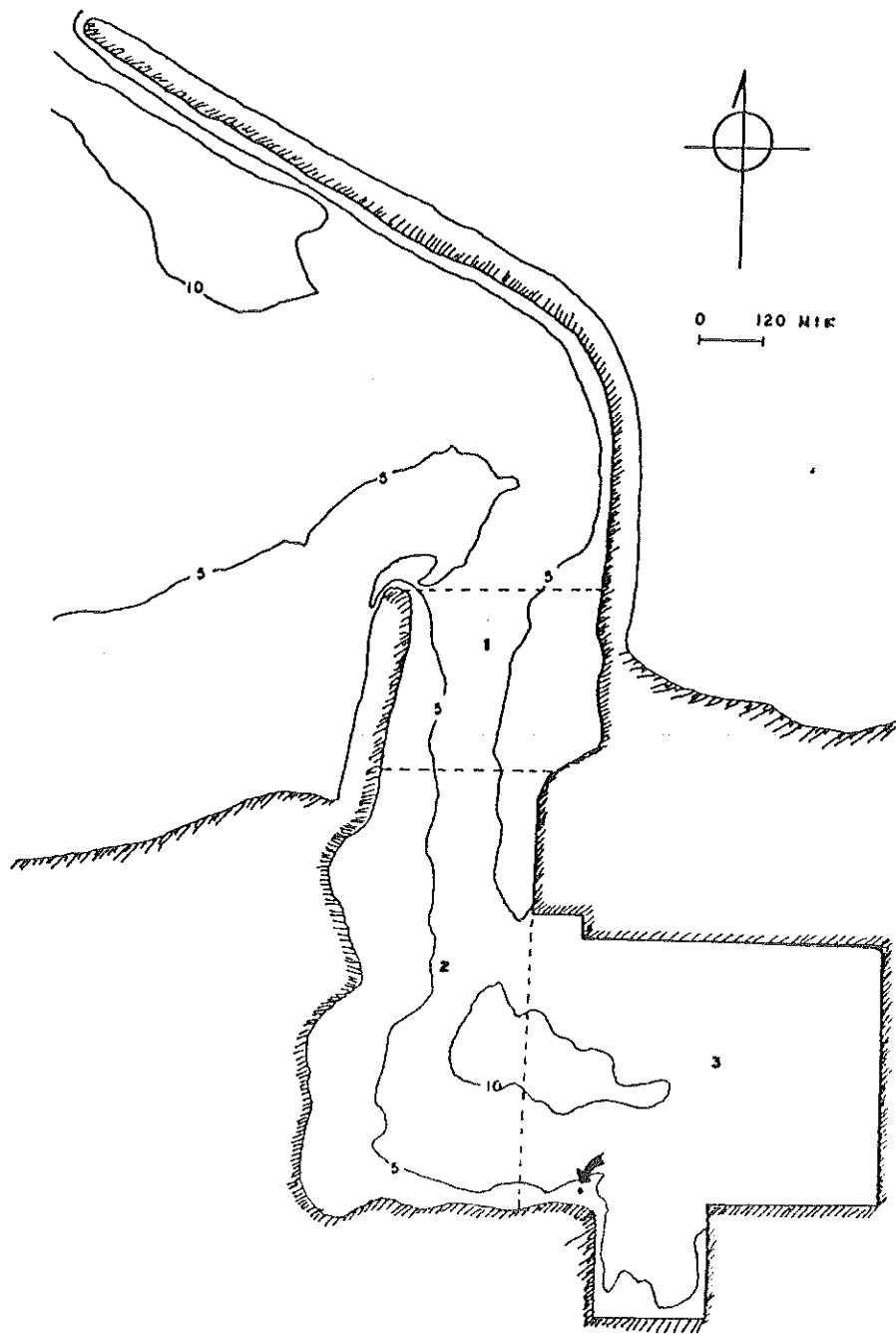


Figura No. 3

Darsena y rompeolas (escollera) del puerto de Dos Bocas, Tab., la flecha indica la ubicación del limnìgrafo (fuente, PEMEX).

mayo/88 y cartas batimètricas.

Estos datos fueron almacenados en el sistema de còmputo PRIME 700 del Centro de Investigaciòn Científica y Estudios Superiores de Ensenada, B. C., Los datos fueron analizados por medio de las siguientes tècnicas:

	Viento	Presiòn	Marea
Anàlisis Espectral	*	*	*
Anàlisis Armònico			*
Modelo Nùmerico			*

Se elaboraron gràficas de cada una de estas series de tiempo para ver la calidad de los datos y buscar posibles relaciones, la informaciòn que se obtiene es importante, ya que muestra características y comportamientos que permiten tener criterios como base para otros tipos de anàlisis posteriores.

Ademàs, para investigar la posible relaciòn entre el nivel medio del mar y los factores meteorològicos se utilizò el anàlisis espectral cruzado, a continuaciòn se describen las tècnicas utilizadas.

II.II. ANALISIS ESPECTRAL

Una de las herramientas principales del análisis de series de tiempo es la transformada de Fourier, ya que permite analizar los datos desde un punto de vista completamente diferente (dominio de la frecuencia), la integral de Fourier está definida como (BRIGHAM, 1974):

$$H(f) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t) e^{-i2\pi ft} dt$$

$H(f)$ = Transformada de $h(t)$.

$h(t)$ = Función de variable en el tiempo.

La transformada de Fourier en una cantidad compleja que consta de parte real y parte imaginaria, un caso especial de la transformada continua (ya que la integral es continua), es la transformada discreta de Fourier, definida como (BRIGHAM, 1974):

$$G(n/NT) = \sum_{k=0}^{N-1} g(kT) e^{-i2\pi nk/N}; n=0, 1, 2, \dots, N-1$$

Donde:

N = Número de muestras en el tiempo.

T = Intervalo de muestreo.

El utilizar la transformada discreta de Fourier es con el fin de usarse en computadoras digitales.

II.II.I. ANALISIS ESPECTRAL CRUZADO

Esta tècnica es utilizada en sistemas lineales invariantes en el tiempo, siendo aplicada para encontrar relaciones entre series de tiempo, utilizando la transformada de Fourier obtenemos (BENDAT & PIERSOL, 1986):

$S_X(w)$ = Espectro de $X(t)$.

$S_Y(w)$ = Espectro de $Y(t)$.

$H(w)$ = Funciòn de respuesta del sistema, en frecuencia.

A partir de las relaciones anteriores se obtienen las siguientes definiciones que permiten establecer la posible relaciòn entre estas se~nales (BENDAT & PIERSOL, 1986):

1) Coespectro (transformada coseno de Fourier):

$$C_{XY}(w) = R_X(w) * R_Y(w) + I_X(w) * I_Y(w)$$

2) Espectro de cuadratura (transformada seno de Fourier):

$$Q_{XY}(w) = R_X(w) * I_Y(w) - R_Y(w) * I_X(w)$$

Donde:

$R_X(w)$, $R_Y(w)$ = Parte real de los espectros.

$I_X(w)$, $I_Y(w)$ = Parte imaginaria de los espectros.

3) Fase del sistema (retraso de la se~nal):

$$\phi(w) = \text{ARCTAN}(Q_{XY}(w)/C_{XY}(w))$$

5) Coherencia (indica la relación existente entre señales):

$$\gamma^2(\omega) = [E_{XY}(\omega)]^2 / (E_{XX}(\omega) * E_{YY}(\omega)) \leq 1$$

Donde:

E_{XX} = Autoespectro de $X(t)$.

E_{YY} = Autoespectro de $Y(t)$.

6) Estimación de la señal de salida:

$$E_{YY}(\omega) = [H(\omega)]^2 * E_{XX}(\omega)$$

7) Factor de atenuación del sistema (admitancia):

$$\alpha(\omega) = [E_{XY}(\omega)] / E_{XX}(\omega)$$

Mayor información puede ser encontrada en BENDAT & PIER-SOL (1986), BRIGHAM (1976) Y BATH (1974).

II.III. ANALISIS ARMONICO

Matemáticamente la marea se representa por medio de la siguiente ecuación:

$$Z(t) = Z_0 + \sum_{j=1}^M A_j \cos(s_j t - f_j) + \text{ETA}(t)$$

Donde:

Z_0 = Nivel de referencia.

$Z(t)$ = Nivel del mar observado en una estación al tiempo t .

A_j = Amplitud de la componente armónica.

s_j = Frecuencia del potencial de marea.

f_j = Fase de la componente armónica.

M = Número de armónicos significantes.

$\text{ETA}(t)$ = Contribución de otros factores físicos a la variación del nivel del mar (ruido).

Para obtener los valores de A_j y f_j se utiliza el método de mínimos cuadrados para polinomios, este requiere que se minimice la desviación de los datos, el procedimiento consiste en derivar con respecto a los coeficientes de la ecuación obteniéndose un sistema de ecuaciones simultáneas, usando el método de determinantes se llega a una ecuación matricial que es simplificada utilizando sumas de series trigonométricas, y expresándolas en forma euleriana, obteniéndose los valores de A_j y f_j . Más información a detalle puede encontrarse en GODIN (1973) y FOREMAN (1977).

II.IV. MODELO NUMERICO

El modelo utilizado para simular los campos de velocidad por marea, está basado en el principio de continuidad de volumen (HENDERSON, 1966), definido matemáticamente como:

$$d(u_x * z_t) / dx + B dz_t / dt = 0$$

Donde:

z_t = Elevación de la superficie al tiempo t .

u_x = Velocidad del fluido en la posición x .

B = Ancho del canal.

Se supone que las elevaciones a lo largo de la cuenca son simultàneas; utilizando este principio definimos que:

$$Q(t) = d(V(t))/dt$$

Donde:

$$Q(t) = \text{Gasto hidràulico al tiempo } t.$$

$$V(t) = \text{Volumen al tiempo } t.$$

El flujo total $Q(t)$ que es transferido a travès de una secciòn, equivale al producto de la velocidad $v(t)$ y el àrea $A(t)$ de una secciòn transversal (figura No. 4), entonces:

$$A(t) * v(t) = d(V(t))/dt = Q(t)$$

En esta ecuaciòn $v(t)$ es la velocidad instantànea que produce una variaciòn de volumen $d(V(t))$ en un cierto intervalo de tiempo dt , cuando el flujo atravieza una àrea $A(t)$, la velocidad puede ser obtenida de la expresiòn anterior, despejando obtenemos:

$$v(t) = (1/A(t)) * d(V(t))/dt$$

Esta ecuaciòn en forma de algoritmo se expresa como:

$$v_i^{t+1} = (1/A_{t+1}) * (V_{t+1} - V_t)$$

Donde i especifica el segmento a ser evaluado.

Este valor de velocidad es ùnico y representativo para toda la secciòn, su magnitud està determinada principalmente

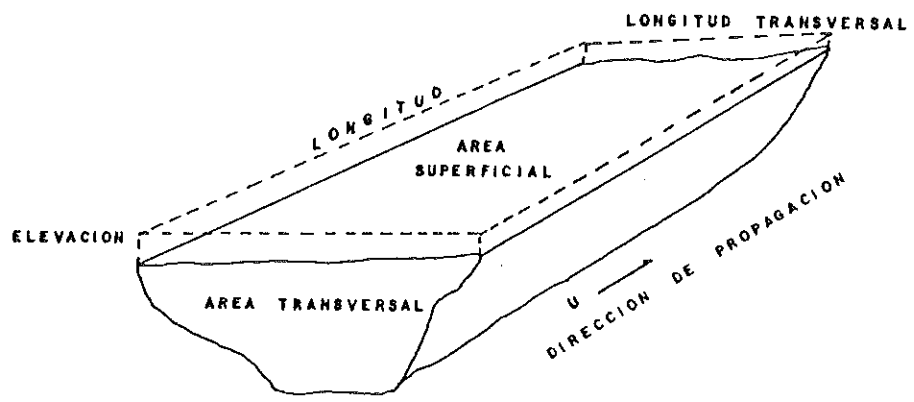


Figura No. 4

Esquema de un segmento de cuenca.

por la geometría de la cuenca, ignora otros procesos físicos que en la realidad influyen sobre la circulación, como son:

- 1) El esfuerzo del viento sobre la superficie de agua.
- 2) La evaporación que influye en cambios de la salinidad y temperatura del fluido, afectando la densidad de este.
- 3) El flujo turbulento.

III. RESULTADOS

III.I. ANALISIS DE LA MAREA

La figura No. 5 se muestra el mareograma con el cual se realizò el anàlisis armònico, la duraciòn del registro utilizado fuè inicialmente de 734 horas, ampliàndose hasta 1080 horas, en el anexo I se detalla el procedimiento para la obtenciòn de las componentes armònicas, dada la problemàtica que se presentò en el registro original de 8064 horas. A continuaciòn se presentan las principales componentes de la marea.

Componente.	Amplitud (cms).	Fase (grados).
O1	14.99	289.04
K1	16.69	277.04
N2	2.04	33.59
M2	8.21	75.40
S2	2.79	58.07

Los valores de las fases estàn referidos al tiempo del meridiano 90 W, se presenta en la figura No. 6a y 6b un mapa cotidal de la componente K1 y la M2 en el Golfo de Mèxico (DEFANT, 1961), se observan las amplitudes y fases de estas constantes referidas al tiempo del meridiano 89.9 W, la marea es del tipo mixta predominantemente diurna, es observable la predominancia diurna, asì tambièn la existencia de marea semidiurna en los ciclos de mareas muertas, el rango me-

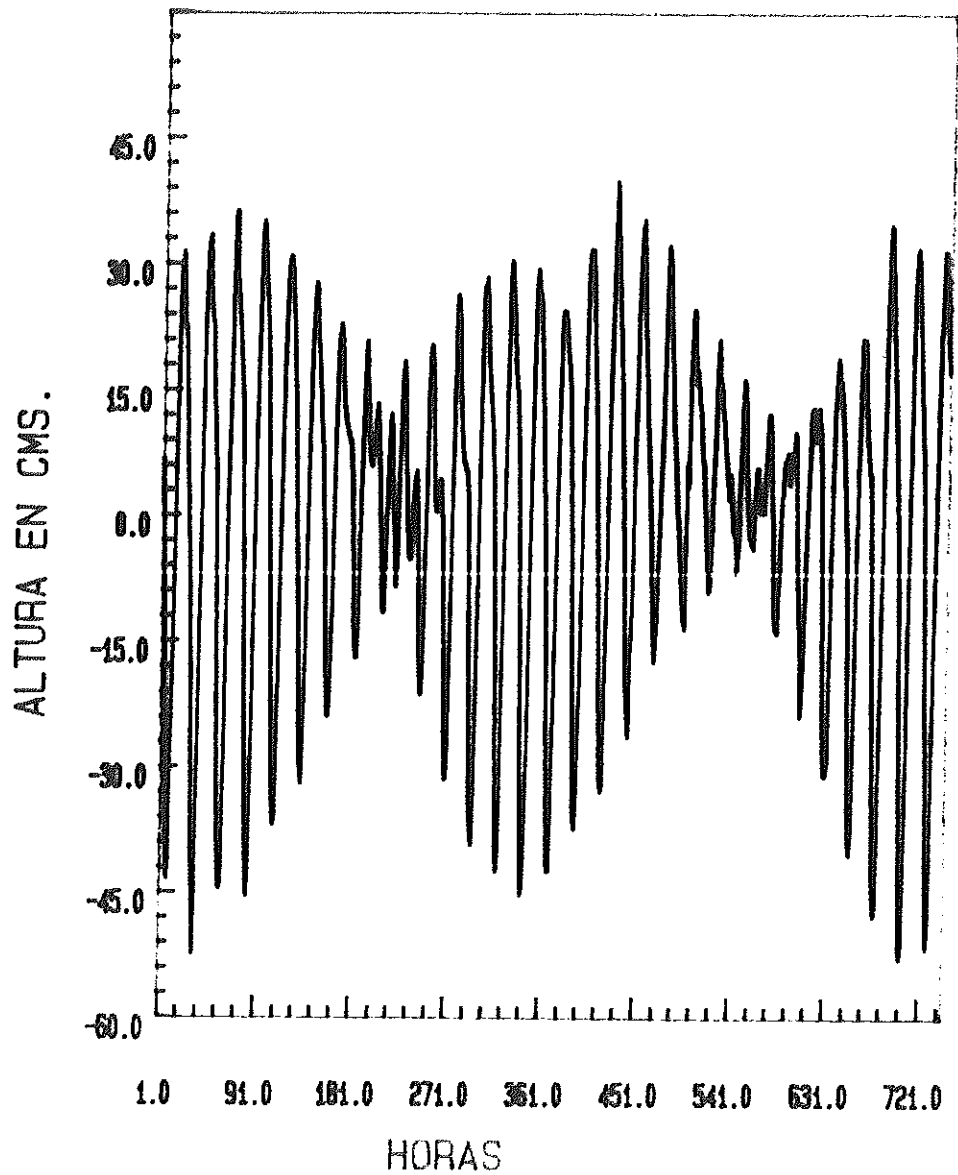


Figura No. 5

Nivel del mar, del 24/Octubre/87 al 24/Noviembre/87

(alturas referidas con respecto a bajamar media).

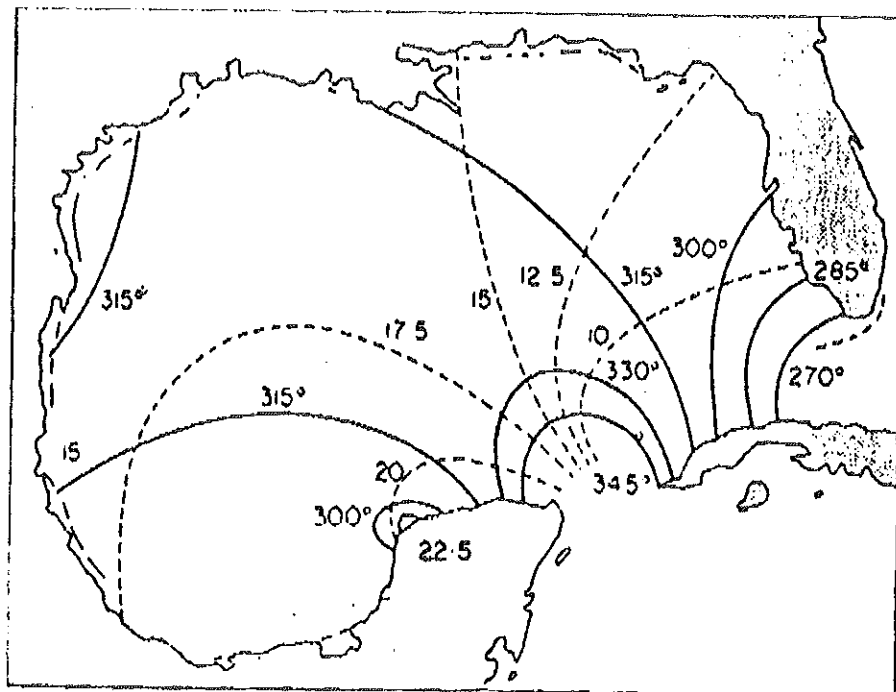


Figura No. 6a

Mapa cotidal de la componente K1, en el Golfo de México, --- , amplitud en cms., — , fase referida al meridiano 89.9 W (DEFANT, 1961).

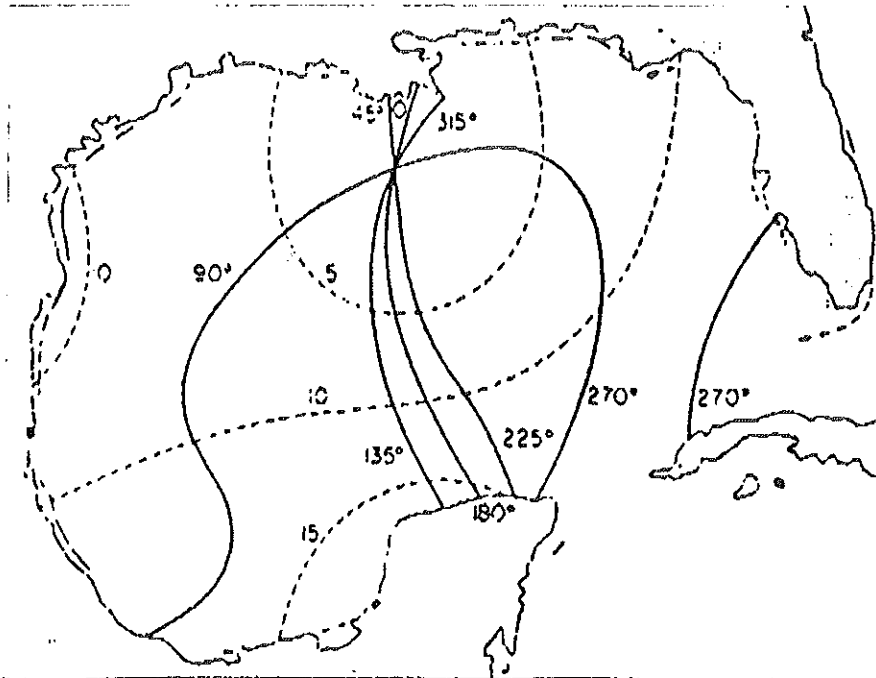


Figura No. 6b

Mapa cotidal de la componente M2, en el Golfo de México, ----, amplitud en cms., —, fase referida al meridiano 89.9 W (DEFANT, 1961).

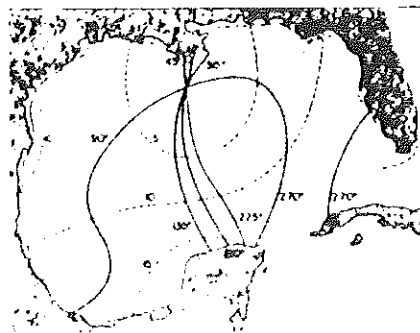


Figura No. 6c

Mapa cotidal de la componente M2, en el Golfo de México (vease figura No. 6b) (GRIJALVA, 1964).

dio de marea es menor de un metro de amplitud. Los residuos correspondientes por este análisis son observables en la figura No. 7, están comprendidos en un rango de 18 centímetros son la parte no astronómica de la marea, para mayor información de este análisis refièrase a la tabla II.

El análisis espectral demuestra que la banda diurna es de mayor magnitud que la banda semidiurna, en una proporción de 8.7 veces mayor, la figura No. 8 presenta el espectro del nivel del mar, se observa que las bandas de periodo menor a 4 dias son del mismo orden de magnitud.

III.II. ANALISIS DEL VIENTO

La figura No. 9 muestra el registro de la velocidad del viento medida, los vientos que provienen entre el Norte y Nor-Este representaron el 50.19% del registro, sus magnitudes promedio y direcciones son observables en la figura No. 10 que es la rosa de vientos, en la tabla III se presentan los vientos en velocidad, porcentaje y dirección, las estadísticas del viento se presentan a continuación:

A) Estadísticas en kms/hora (de los promedios diarios):

Promedio.	Desv. Std.	Varianza.	Màximo.	Mínimo.
27.60	11.52	132.86	84.12	6.10

* Desv. Std., es la desviación estandar.

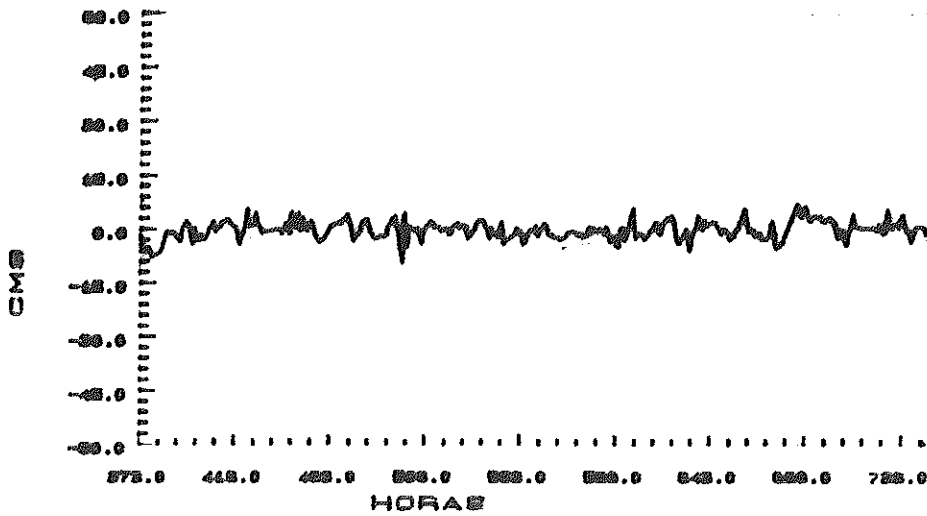
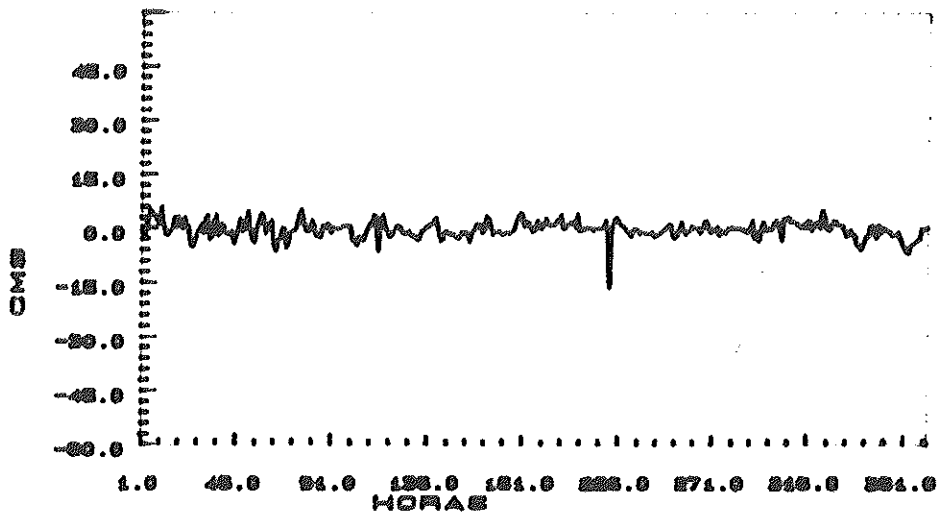


Figura No.7

Residuos del segmento utilizado en el análisis armónico.

TABLA .II. Anàlisis de alturas horarias de la marea, OH
 24/10/87 a las 23H 19/12/87, Dos Bocas, Tabasco,
 18° 26' latitud Norte, 93° 10' longitud Oeste.
 te.

No.	Nombre	Frecuencia	Amplitud	Fase
1	Z0	0.00000000	1.8814	0.00
2	MM	0.00151215	2.3562	142.67
3	MSF	0.00282193	4.4063	182.39
4	ALP1	0.03439657	1.3649	254.86
5	2Q1	0.03570635	1.0454	305.29
6	Q1	0.03721850	3.0642	276.77
7	O1	0.03873085	14.9912	289.04
8	NO1	0.04026859	1.3173	116.93
9	K1	0.04178075	16.6947	277.04
10	J1	0.04329290	0.4895	234.22
11	OO1	0.04483084	1.0871	4.23
12	UPS1	0.04634299	0.8650	258.02
13	EPS2	0.07617732	0.7807	54.00
14	MU2	0.07768947	1.0198	331.10
15	N2	0.07899925	2.0498	33.59
16	M2	0.08505114	8.2116	75.40
17	L2	0.08202355	0.4579	328.95
18	S2	0.08333333	2.7940	58.07
19	ETA2	0.08507364	0.2372	154.61
20	MO3	0.11924206	0.2911	222.27
21	M3	0.12076710	0.2962	287.72

TABLA .II. Continuaciòn

No.	Nombre	Frecuencia	Amplitud	Fase
22	MK3	0.12229213	0.2922	159.27
23	SK3	0.12511408	0.2910	184.01
24	MN4	0.15951065	0.2668	30.27
25	M4	0.16102280	0.0371	353.53
26	SN4	0.16233258	0.2848	115.45
27	MS4	0.16384473	0.2608	79.98
28	S4	0.16666667	0.0674	112.80
29	2MK5	0.20280344	0.0806	165.07
30	2SK5	0.20844741	0.1089	158.98
31	2MM6	0.24002205	0.1499	226.38
32	M6	0.24153420	0.0612	49.65
33	2MS6	0.24435613	0.1528	169.11
34	2SM6	0.24717807	0.0580	107.84
35	3MK7	0.28331495	0.1546	280.43
36	M8	0.32204560	0.0693	37.37

* Frecuencia en cic/hora, amplitud en centímetros, las fases estàn referidas al tiempo del meridiano 90 W.

Número de forma (POND & PICKARD, 1983): 2.88

Rango medio de marea (POND & PICKARD, 1983): 63.96 cms.

Planos de referencia:

Pleamar màxima registrada: 63.87

Pleamar media: 23.64

Nivel medio del mar: 0.00

Bajamar media: -17.27

Bajamar mínima registrada: -74.13

Límite de confianza al 95% de la resolución de los armò-
nicos (GODIN, 1970): (+/-) 0.48 cms.

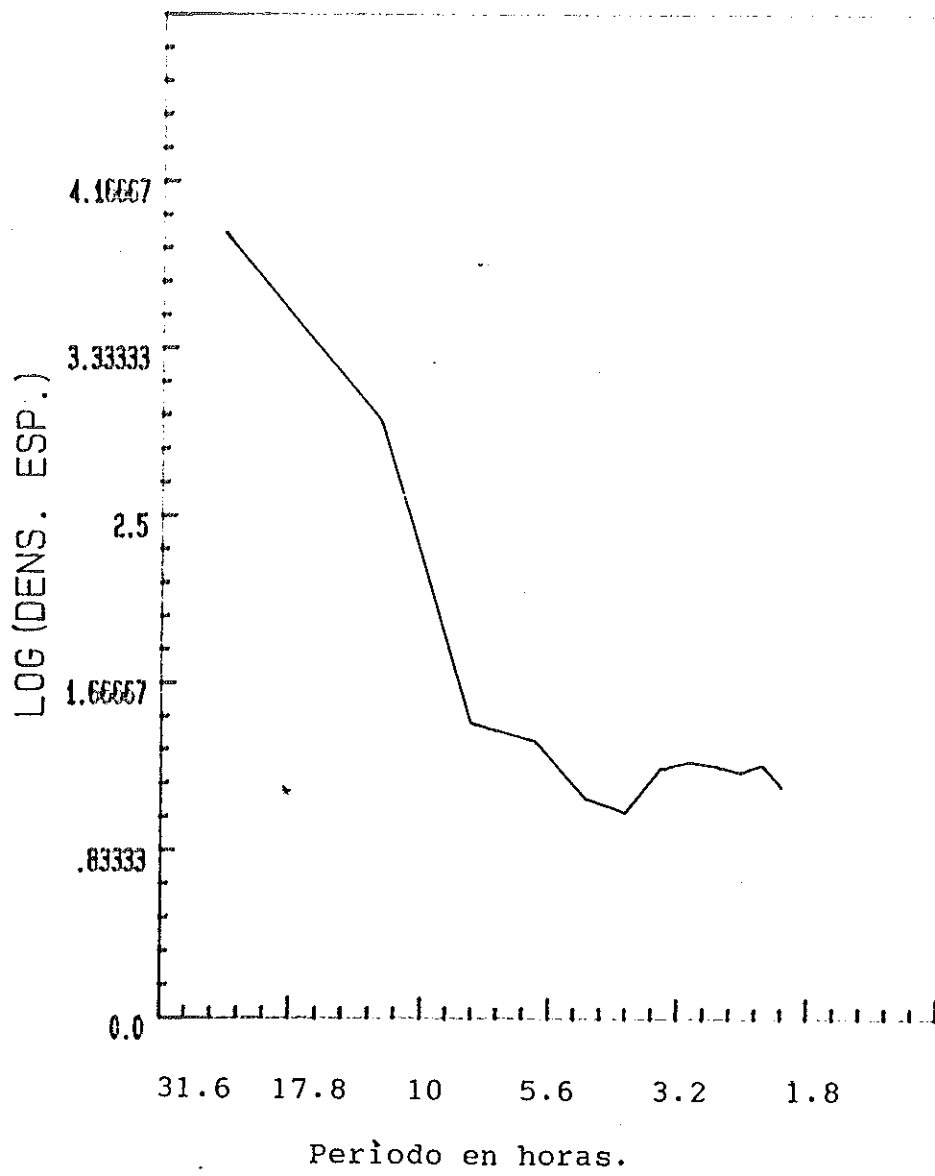


Figura No.8

Espectro del nivel del mar.

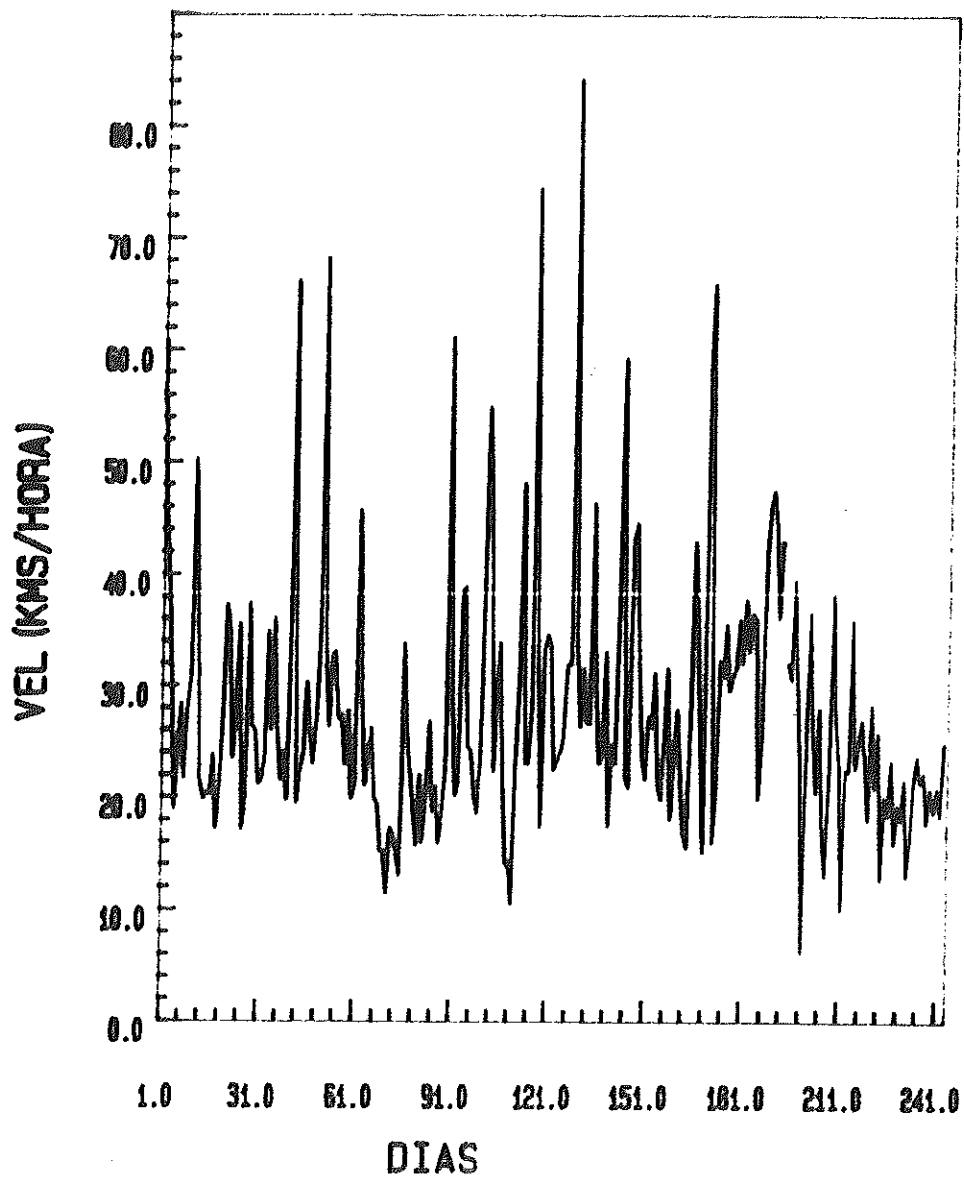


Figura No.9

Velocidad media diaria del viento.

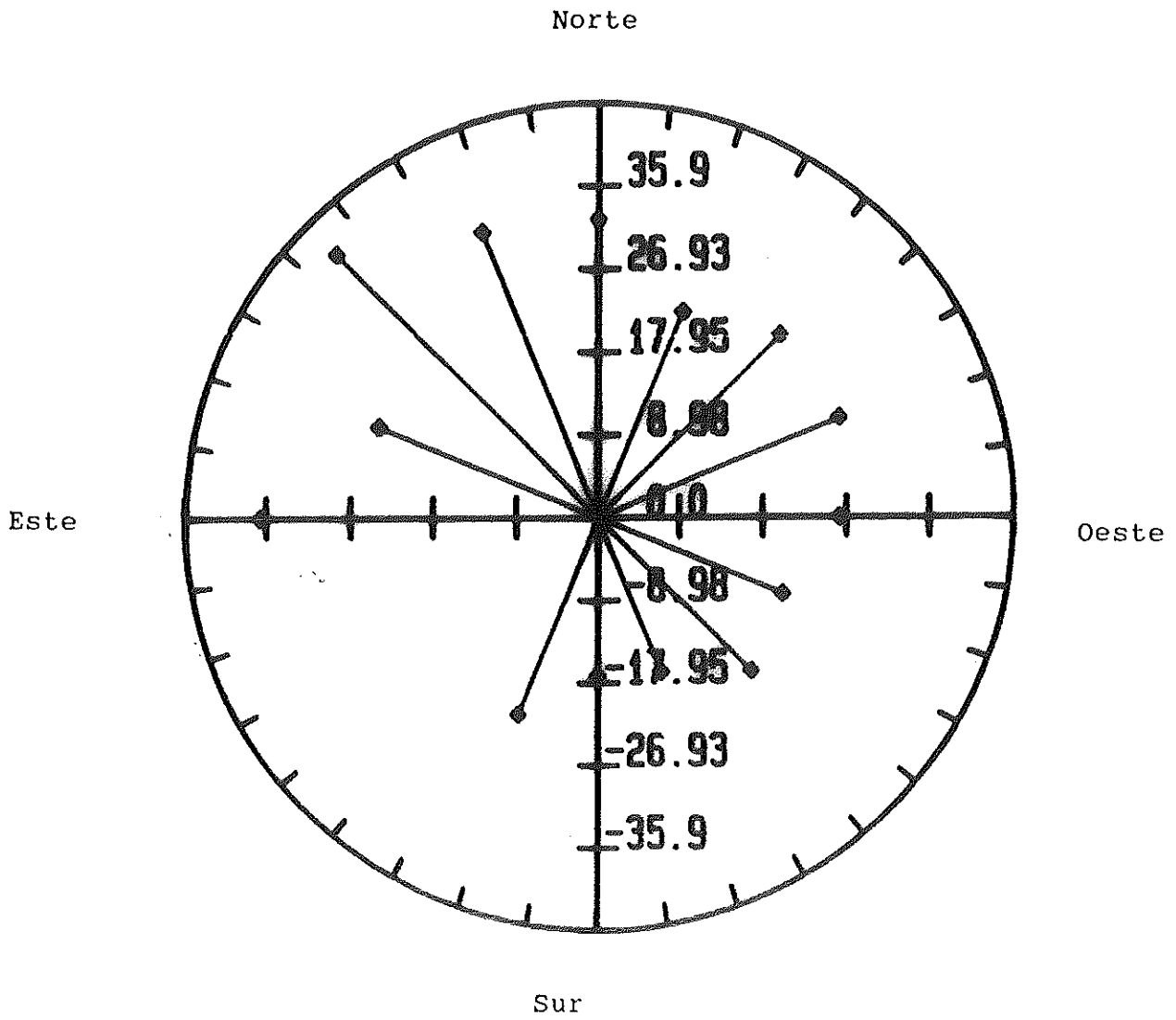


Figura No. 10

Rosa de vientos de Dos Bocas, Tabasco.

TABLA .III. Anàlisis de las direcciones de proveniencia del viento y porcentaje (de los promedios diarios).

Direcciòn	Velocidad promedio	Porcentaje
NNE	24.11	17.28
NE	27.82	17.28
ENE	28.19	9.87
E	26.05	3.29
ESE	21.68	3.70
SE	23.54	13.58
SSE	18.18	0.82
S	17.24	0.82
SSW	23.08	2.05
SW	0.00	0.00
WSW	0.00	0.00
W	36.70	0.41
WNW	25.89	2.46
NW	40.39	4.11
NNW	33.47	8.23
N	32.29	15.63

* Velocidad promedio en kms/hora, los porcentajes son en ba se a la duraciòn del registro.

B) Mximo registrado:

115.90 kms/hora, Febrero/06 a las 13:00 horas.

El espectro de la velocidad del viento se observa en la figura No. 11, se observa que las bandas de 6 y 4.8 dias presentan la mayor magnitud respecto a las restantes.

III.III. ANALISIS DE LA PRESION ATMOSFERICA

En la figura No. 12 se muestra el registro medido, sus estadisticas son presentadas a continuacin:

A) Estadisticas en mbares (de los promedios diarios):

Promedio.	Des. Std.	Varianza.	Mximo.	Mínimo.
1015.79	4.0	16.02	1029.7	1006.1

B) Mximo registrado:

1031.9 mbares, Enero/27 a las 10:00 horas.

C) Mínimo registrado:

1003.3 mbares, Febrero/18 a las 02:00 horas.

El espectro de la presin atmosfrica se observa en la figura No. 13, las bandas de 24 y 12 dias de periodo son las de mayor magnitud.

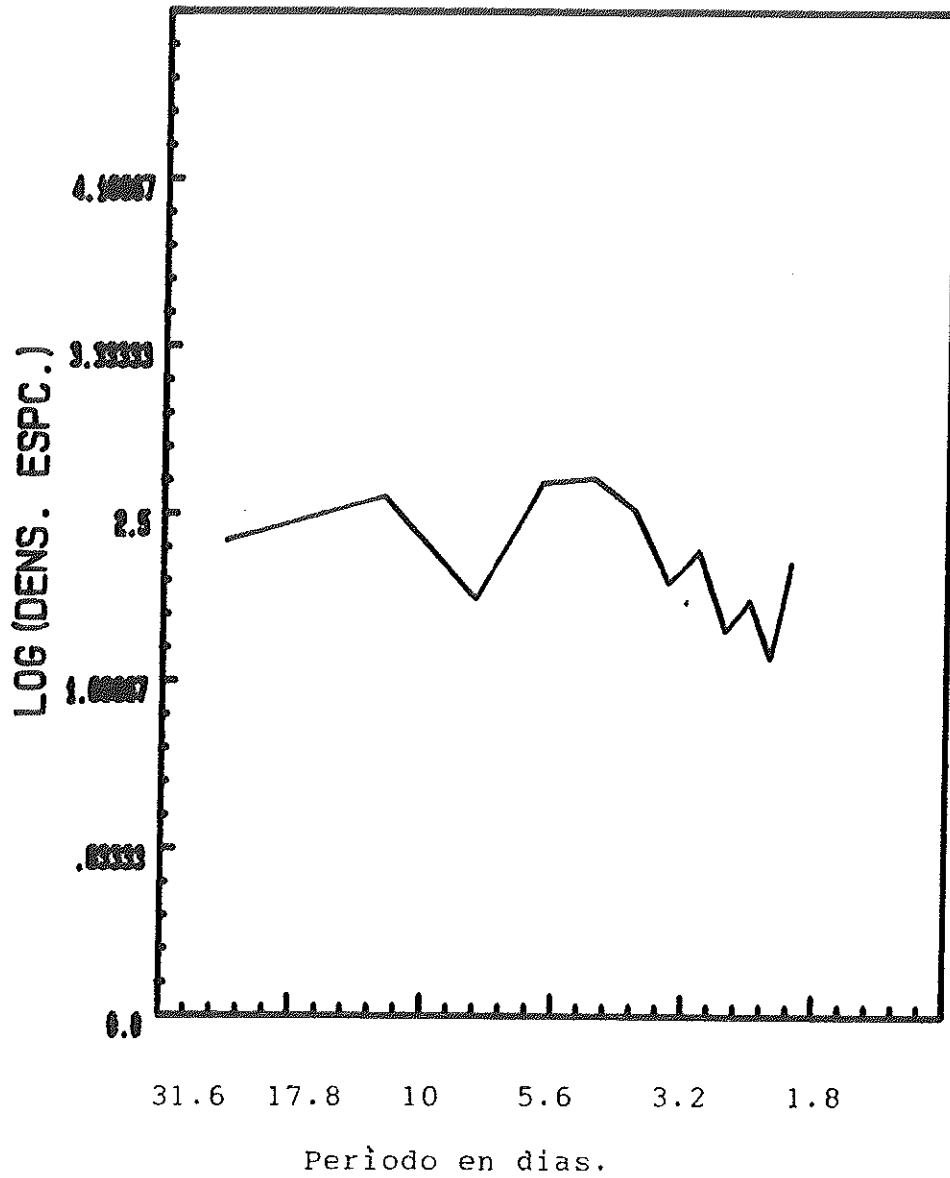


Figura No. 11

Espectro de la velocidad media diaria del viento.

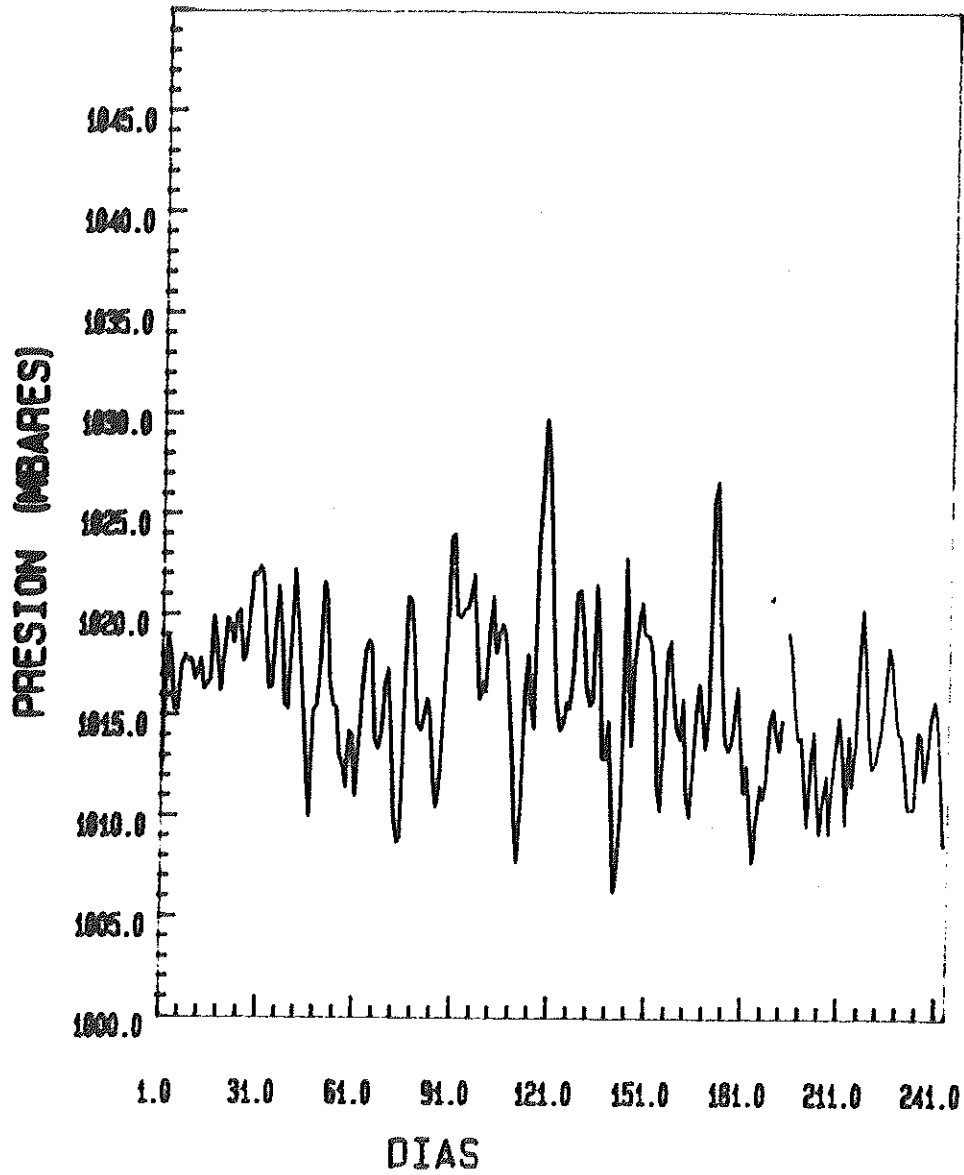


Figura No. 12

Presiòn atmosfèrica media diaria.

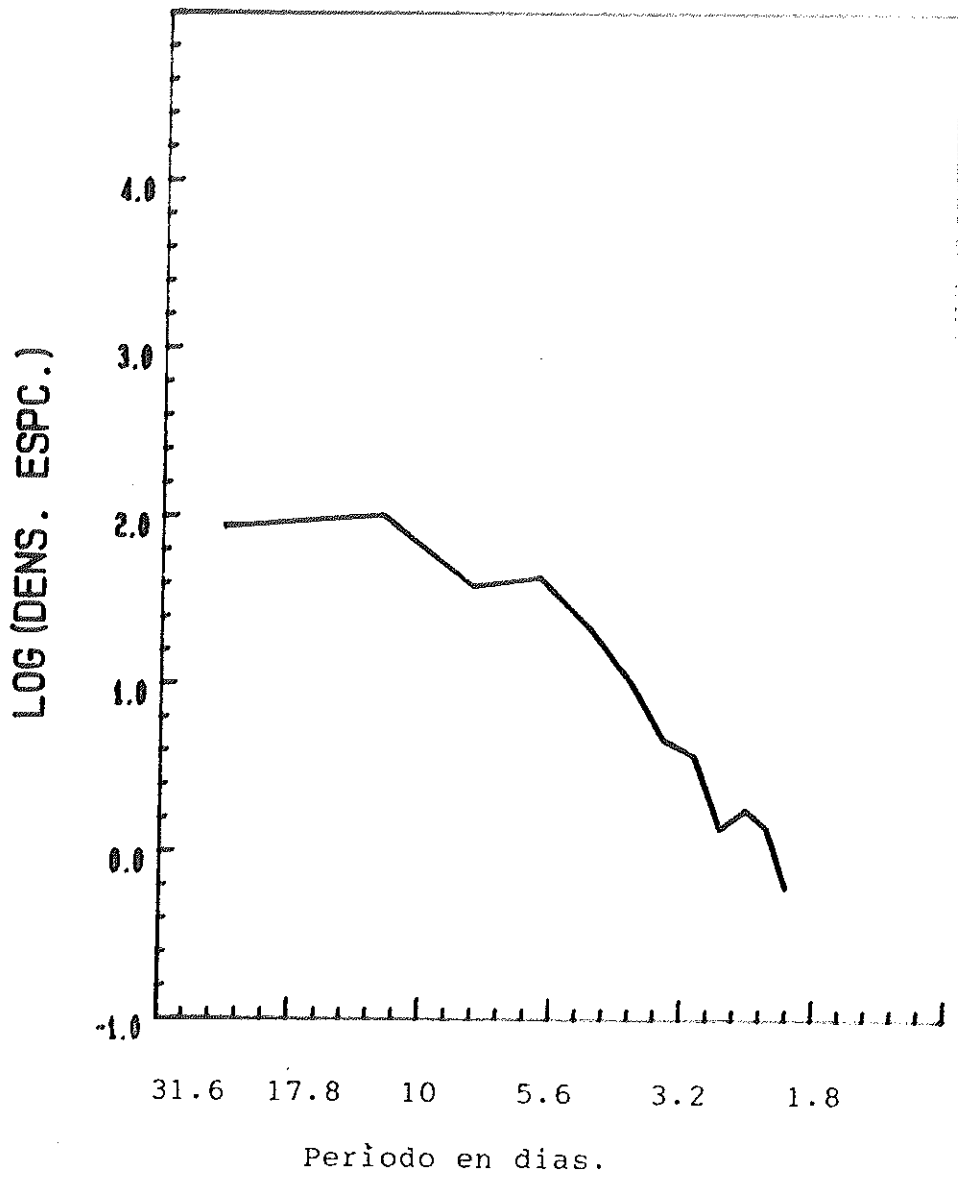


Figura No. 13

Espectro de la presión atmosférica media diaria.

III.IV. ANALISIS DEL NIVEL MEDIO DIARIO DEL MAR

En la figura No. 14 se presenta su gràfica, para hacerla se promediaron los valores horarios diarios del nivel del mar que comprende del 01/Octubre/87 al 31/Mayo/88, esto actua como filtro, ya que se eliminan las bandas diurnas, semi diurnas y menores de la marea, esto se realizò con la finalidad de buscar la relaciòn de su variaciòn por eventos meteorològicos, ademàs porque los datos de viento y presiòn son datos promedio diario, la figura No. 15 presenta la variaciòn de este en el puerto de Coatzacoalcos, Ver. (GRIVEL, 1979) como una comparaciòn.

El espectro de la figura No. 14 se observa en la figura No. 16, las bandas de 24 y 12 dias de periòdo son las de mayor magnitud.

III.IV. ANALISIS ESPECTRAL CRUZADO

Este se realizò con la finalidad de investigar posibles efectos de la velocidad del viento y/o presiòn atmosfèrica sobre el nivel medio del mar, las figuras No. 17 y No. 18 muestran estas series simultàneamente, permitiendo buscar posibles relaciones (visualmente), el anàlisis fuè a 12 bandas a continuaciòn se presentan los resultados principales.

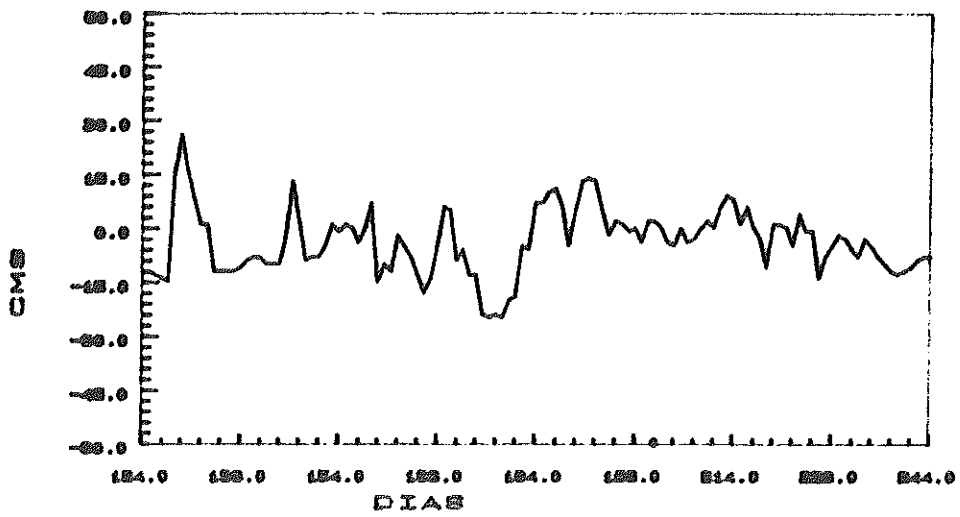
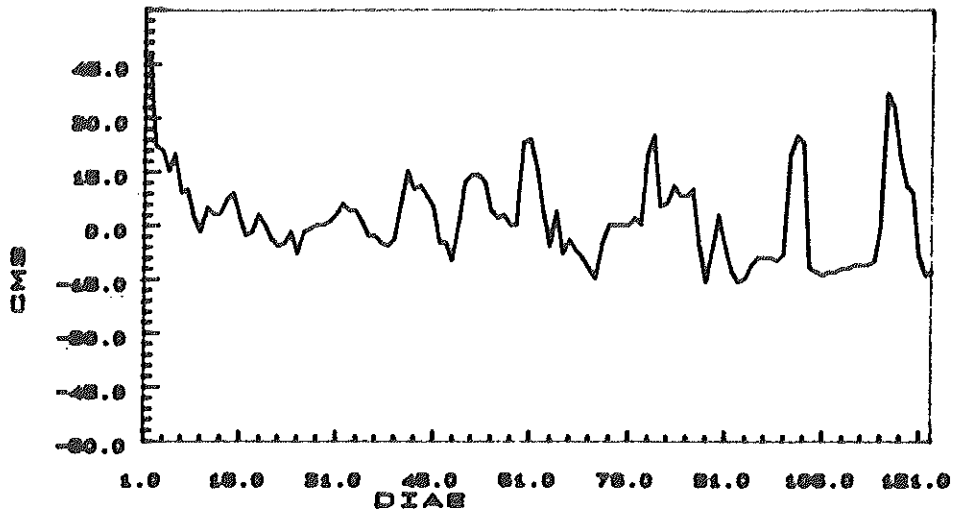


Figura No. 14

Nivel medio diario del mar, del 1/Octubre/87 al
31/Mayo/88.

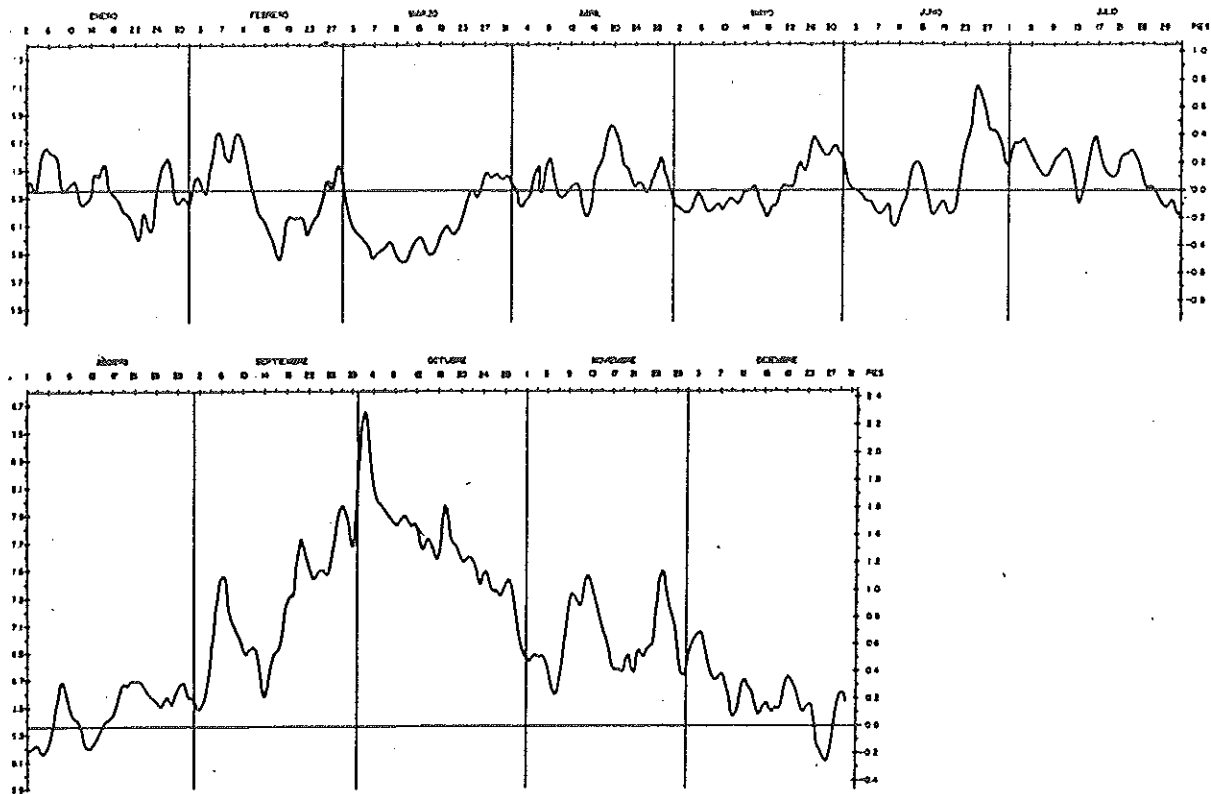


Figura No. 15

Variación diaria del nivel medio del mar en
Coatzacoalcos, Ver. 1974 (GRIVEL, 1979).

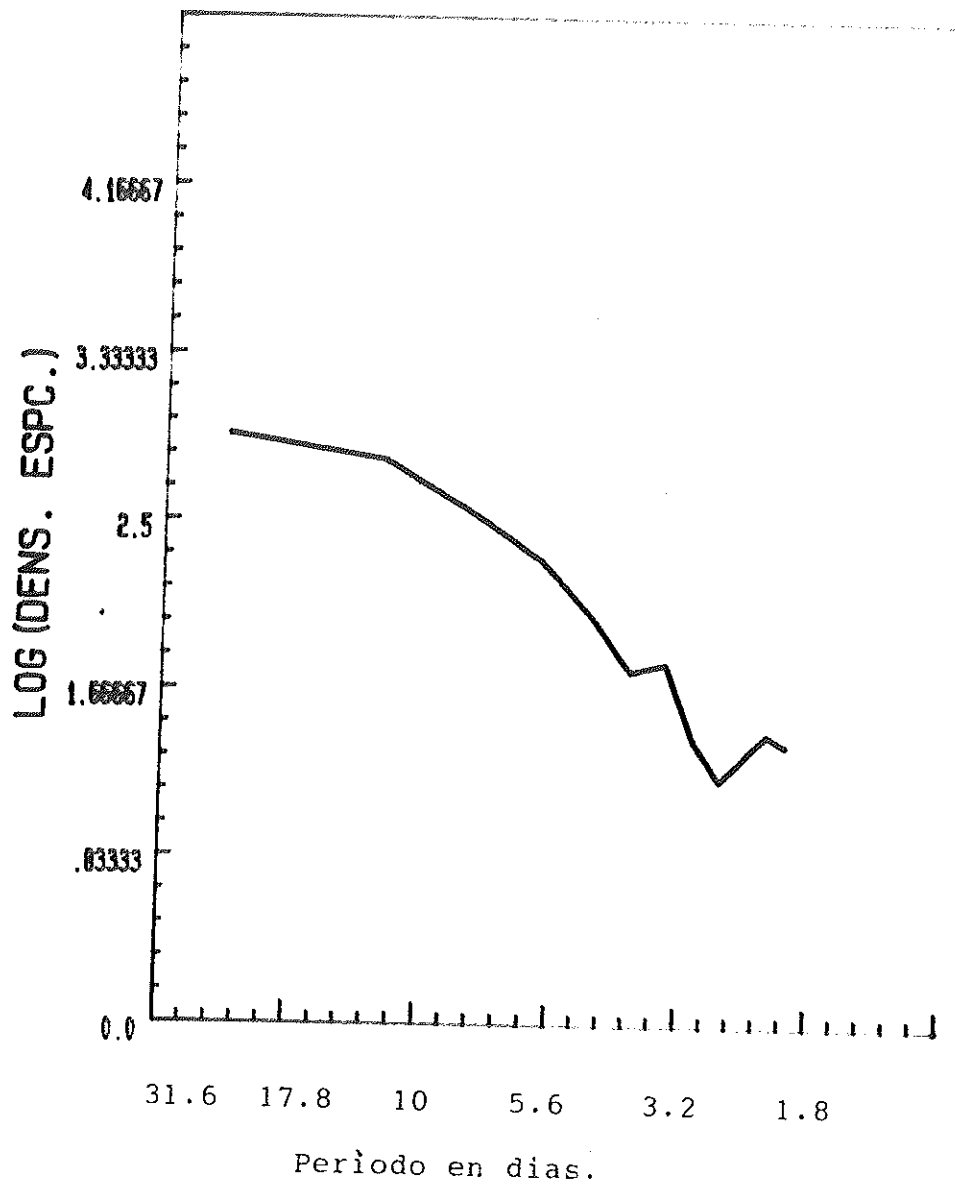


Figura No. 16

Espectro del nivel medio diario del mar.

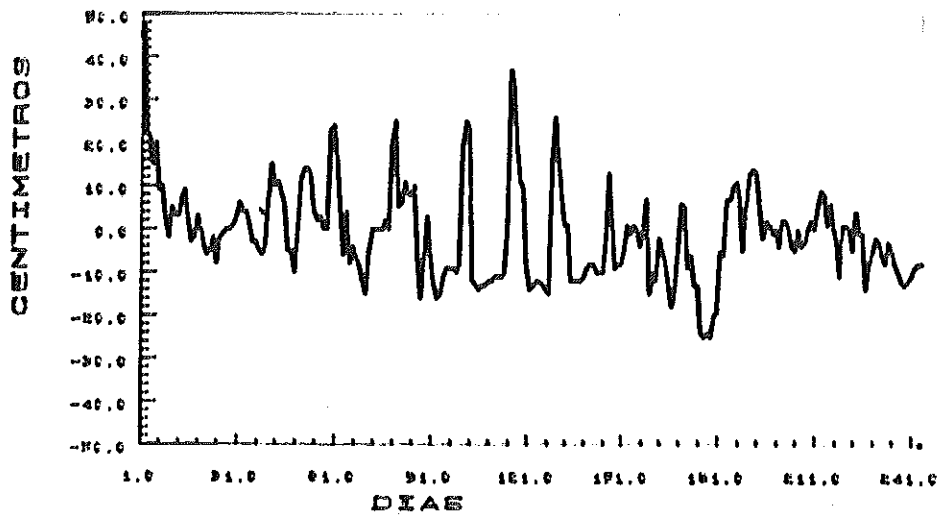
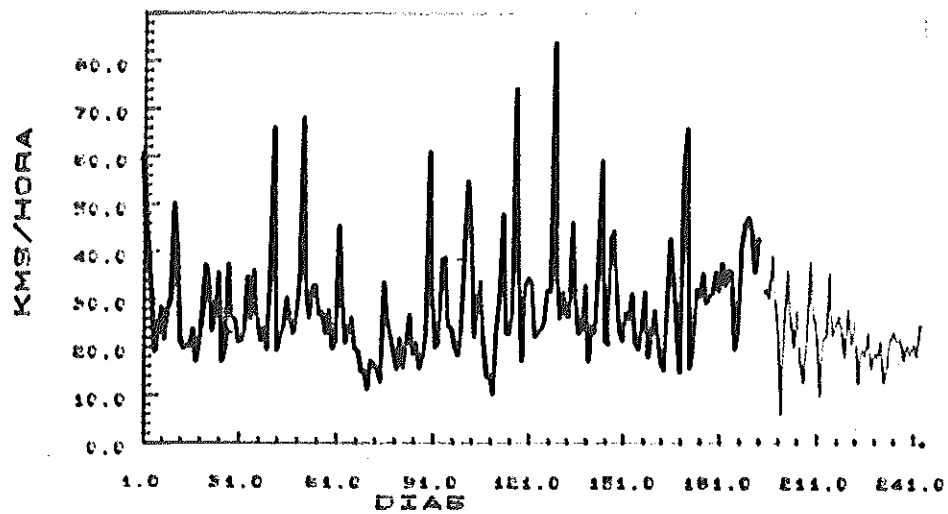


Figura No. 17

Velocidad del viento (sup.) y el nivel medio del mar
(inf.).

A) Presiòn Atmosfèrica vs Nivel Medio Diario del Mar:

Banda	Perìodo (días)	Cohe.	Fase	Admitancia
0	> 24	0.602	-179.95	1.616
2	12	0.605	-44.51	1.500
5	4.8	0.343	-108.74	0.768
8	3	0.481	-48.07	1.266
12	2	0.497	80.66	3.158

La mayor coherencia es encontrada en la banda de 12 días
alta admitancia es encontrada en la banda de 2 días.

B) Velocidad del Viento vs Nivel Medio Diario del Mar:

Banda.	Perìodo (días)	Cohe.	Fase.	Admitancia.
0	> 24	0.828	93.90	0.699
2	12	0.647	14.14	0.823
5	4.8	0.637	-47.55	0.301
8	3	0.437	-9.50	0.154
12	2	0.559	151.32	0.208

La mayor coherencia es encontrada en las bandas de perìo
do largo y en la de 12 días, así también las mayores admitan
cias.

C) Presiòn Atmosfèrica vs Velocidad del Viento:

Banda.	Perìodo (días)	Cohe.	Fase.	Admitancia.
0	> 24	0.753	73.08	2.395
2	12	0.792	-50.82	1.546
5	4.8	0.807	-56.12	3.814
8	3	0.798	-32.09	5.949
12	2	0.591	-42.24	10.089

La mayor coherencia es encontrada en la banda de 4.8 días, la mayor admitancia es encontrada en la banda de 2 días.

* Cohe., es coherencia, fase en grados.

III. V. MODELO NUMERICO

En la simulaciòn de las velocidades por marea, primero se simularon las producidas por flujo y reflujo en marea viva y marea muerta, y posteriormente con el registro de marea que se utilizò en el anàlisis armònico.

La figura No. 3 muestra los segmentos es que fuè fragmentado el puerto, la figura No. 19 muestra las caras transversales de cada uno de los segmentos utilizados, se observò que en el segmento No. 2 las magnitudes fueron mayores, ademàs en el flujo de marea, exepctuando durante el reflujo de marea muerta.

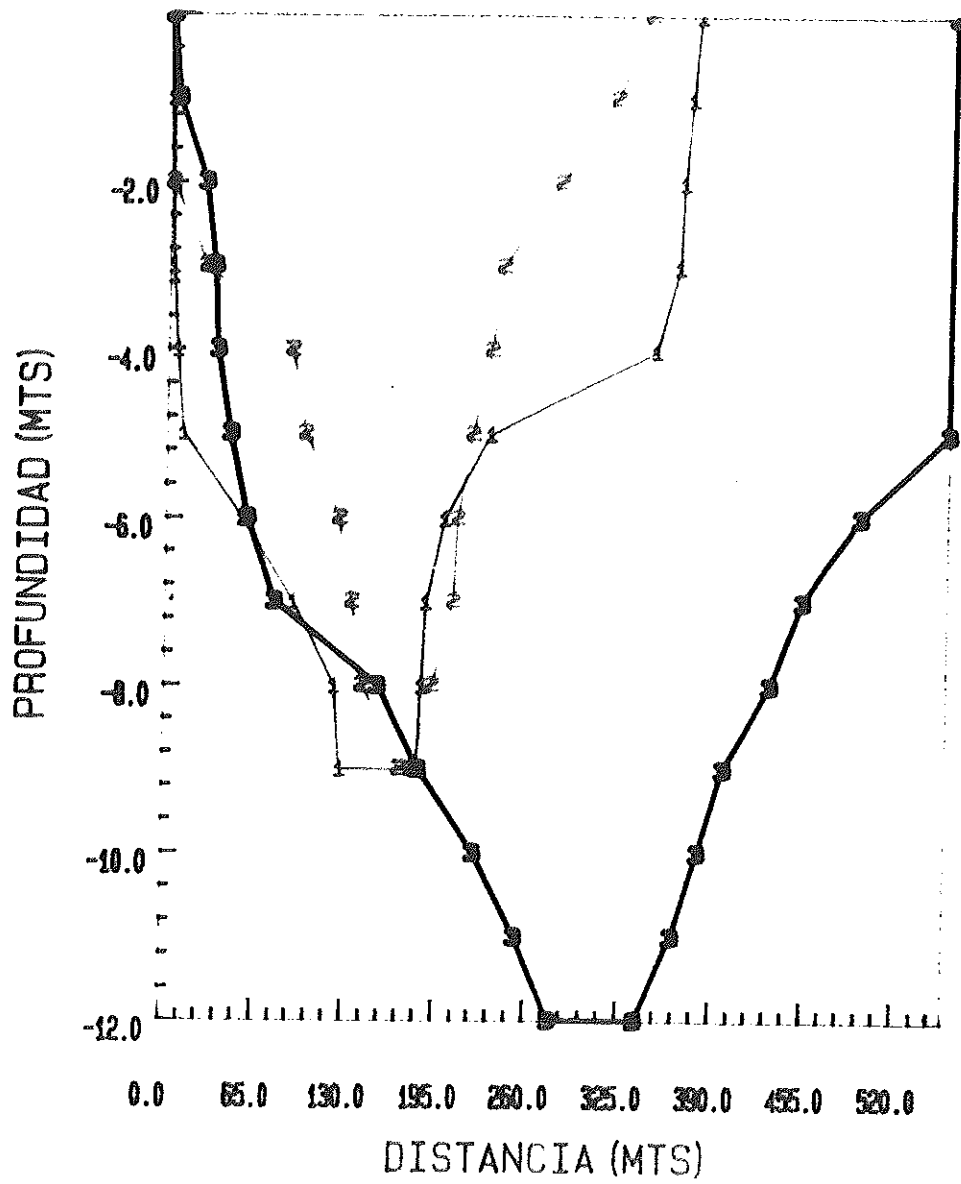


Figura No. 19

Cortes de cara transversal de los segmentos No. 1
No. 2 y No. 3.

A) Velocidades de corriente en marea viva (cms/seg):

Segmento	Flujo	Reflujo
1	0.12	-0.10
2	0.40	-0.36
3	0.18	-0.15

B) Velocidades de corriente en marea muerta (cms/seg):

Segmento	Flujo	Reflujo
1	0.06	-0.07
2	0.22	-0.24
3	0.09	-0.10

C) Velocidades simuladas con el registro (cms/seg).

Segmento	Vel. Maxima	Vel. Mínima
1	0.32	-0.23
2	1.08	-0.79
3	0.47	-0.36

* Vel., es velocidad.

IV. DISCUCIONES

Por medio del análisis armónico se separò desde la componente MM hasta la M8, fueron obtenidas 3 componentes de periodo largo, 9 de periodo diurno, 7 de periodo semidiurno, 4 de periodo terциdiurno y 13 de aguas someras, el anexo I incluye la información del número de horas requeridas para la separación u obtención de estas componentes.

Las componentes K1 y O1 son las de mayor amplitud (del orden de 15 centímetros), la mensual (MM) y la quincenal (MSF) son del orden de magnitud las componentes semidiurnas N2 y S2 (5 centímetros), y la M2 que es del orden de 10 centímetros.

La resolución de armónicos permitiò separar componentes mayores de (+/-) 0.48 centímetros de amplitud (tabla II) las que presentan menor amplitud a este valor se pueden considerar ruido por su poca magnitud, el intervalo fuè obtenido base al registro utilizado en el análisis armónico, no se puede decir que sea un criterio base para futuros análisis de la marea en esta zona.

La marea es mixta predominantemente diurna, con amplitud media menor de un metro, como es mostrado por el número de forma y el rango entre pleamar media y bajamar media (tabla II), presenta como característica en particular, que el tiempo de flujo es menor que el de reflujó, este aumenta su duración al aproximarse las mareas muertas, su poca amplitud

la hace muy susceptible a ser perturbada fácilmente por agentes externos, GODIN * (c.p.).

La tabla IV contiene las principales componentes de estaciones mareográficas en el Golfo de México, esta es presentada como un criterio de apoyo a los valores obtenidos por el análisis armónico, se observa que las fases no presentan un patrón común de progreso de la marea, por ejemplo las obtenidas en Dos Bocas, Tab., unas muestran estar fuera de un rango establecido si consideramos un progreso de onda entre los puertos de Frontera, Tab. y Coatzacoalcos, Ver.

Comparando los valores en la tabla IV de la K1 y M2 con los presentados en la figura No. 6a y 6b, se observa que varias de estas estaciones no concuerdan con los rangos esperados de las fases de estas componentes (el mapa cotidal de la componente K1, al parecer está errado en cuanto a que las líneas de fase son las de amplitud y viceversa, GODIN *).

Este tipo de irregularidades sugiere varias cosas; por ejemplo se ha observado que en la Sonda de Campeche la marea sufre desfasamientos irregulares en la ocurrencia de pleamares y bajamares con respecto a la de Veracruz, Ver. (UNAM, 1988b); Mancilla ** (c.p.) menciona que ha encontrado variaciones temporales de las fases y amplitudes de las componentes K1 y M2 en Cd. del Carmen, Camp.; por otro lado, hay que

* Gabriel Godin, CICESE, Ensenada B.C., México.

** Manuel Mancilla, CICESE, Ensenada B.C., México.

TABLA .IV. Principales componentes armónicas de puertos
del Golfo de México.

	Matamoros, Tamp.		Tampico, Tamp.		Tuxpam, Ver.	
	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase
M2	0.067	95.37	0.073	74.27	0.081	78.07
S2	0.019	101.84	0.023	75.85	0.025	78.84
N2	0.017	83.63	0.018	63.31	0.020	65.85
K1	0.134	303.64	0.131	291.93	0.145	290.72
O1	0.133	305.49	0.130	294.25	0.148	296.72
	Veracruz, Ver.		Alvarado, Ver.		Coatzacoalcos, Ver.	
M2	0.088	69.10	0.059	86.17	0.074	70.99
S2	0.027	71.14	0.016	80.19	0.021	69.24
N2	0.023	56.23	0.014	78.58	0.020	59.73
K1	0.154	287.36	0.120	302.22	0.138	296.18
O1	0.151	291.37	0.118	299.27	0.137	294.66
	Dos Bocas, Tab.		Frontera, Tab.		Cd. del Carmen, Camp.	
M2	0.082	75.40	0.077	57.72	0.076	78.58
S2	0.027	58.07	0.022	53.83	0.019	73.63
N2	0.020	33.59	0.021	46.63	0.021	67.35
K1	0.166	277.04	0.141	291.21	0.111	315.07
O1	0.149	289.04	0.140	285.85	0.120	318.93

TABLA .IV. Continuaciòn

	Campeche, Camp.		Progreso, Yuc.		Isla Cozumel, Q. Roo	
M2	0.216	91.1	0.058	95.72	0.075	262.91
S2	0.099	87.8	0.017	98.40	0.026	217.21
N2	0.060	87.8	0.021	77.18	0.025	245.95
K1	0.164	310.5	0.180	299.81	0.016	222.40
O1	0.182	298.0	0.168	297.55	0.030	282.76

* Amp. es amplitud en metros, las fases estàn referidas al tiempo del meridiano 90 W (tomado de UNAM, 1979, excepto Dos Bocas, Tab.)

considerar la ubicación del mareógrafo (o limnógrafo), ya que por ejemplo en Dos Bocas, este se localiza en el interior de la dársena, entonces la onda de marea puede ser afectada por efectos de fricción ocasionados por la profundidad del canal (o cuenca), ocasionando una reducción del rango de marea y un desfase en la ocurrencia del pleamar (DEFANT, 1958); se puede considerar la existencia de oscilaciones en cuencas, como son las mareas independientes y las oscilaciones forzadas (mareas simpáticas) como ocurren en el Golfo de México (DEFANT, 1958); Otra causa posible es la existencia de puntos anfidrómicos, Grijalva (1964) por medio de un modelo numérico simula la progresión de la componente M2, encontrándolo al sur de Nuevo Orleans (figura No. 6c), como es observado también en la figura No. 6b.

Los residuos (figura No. 7) son de poca amplitud con respecto al mareograma, estos contienen información de efectos en el nivel del mar (de origen no-astronómico), como pueden ser los eventos meteorológicos (presión atmosférica y el viento), ruido, deriva del aparato de mediciones, pequeñas componentes de marea y pequeñas discontinuidades ocasionales (MELCHIOR, 1983).

En resumen, los valores de las fases de las componentes de marea obtenidas en Dos Bocas, Tab., no se asegura que sean las correctas, ya que este fue el primer análisis armónico que se realiza en esta zona, las posibles causas pueden

ser varias, sin asegurar una(s) en específico, además no se descarta la existencia de error en los datos.

El espectro del nivel del mar (datos horarios) (figura No. 8), confirma la predominancia diurna, muestra además que las bandas 4 horas de período y menores, se agrupan en un mismo orden de magnitud.

El análisis del viento mostrò la predominancia de ciertas direcciones de los vientos, principalmente los del Norte al Nor-Este, las magnitudes registradas son muy fluctuantes, se puede decir que por su constancia y las velocidades que desarrollan, estos pueden ocasionar variación del nivel del mar, cabe decir además que observando detalladamente la figura No. 9, se nota la existencia de una envolvente, principalmente comprendida entre Diciembre a Marzo.

Su espectro (figura No. 11), muestra la existencia de magnitudes (relativas) en las banda de 12, 6, 4.8 y 4 días de período, esto dice que son de mas peso que las restantes.

La presión atmosférica (figura No.12) es poco oscilante comparada con la velocidad del viento, se observa que existen mas fluctuaciones entre Noviembre a Marzo.

El espectro (figura No. 13) muestra que las bandas de 24 y 12 días de período, presentan mayor magnitud que las bandas restantes.

El nivel medio diario del mar (figura No. 14), muestra un valor máximo en los primeros días de Octubre, así como un mínimo en el mes de Marzo, la figura No. 15 que es en este caso del puerto de Coatzacoalcos, Ver., presenta un comportamiento similar (más graficas de este puerto pueden ser encontradas en GRIVEL, 1979), por la poca información existente no se puede inferir la causa de este comportamiento.

Su espectro (figura No. 16) indica que las bandas de 24 y 12 días de período son de mayor peso que las restantes, se puede decir principalmente que se están evaluando las componentes de la marea de período largo, si descartar agentes externos que influyan en su variación.

En el análisis espectral cruzado se consideraron las bandas mostradas en los resultados por presentar picos comunes entre ellas, en la coherencia, los valores no son cercanos a 1, dado esto, se utiliza como criterio las causas posibles que mencionan BENDAT y PIERSOL (1986), en varios casos los valores de fase (tiempo de respuesta de la señal de salida) son negativos, puesto que es ilógico pensar que los factores meteorológicos responden a variaciones del nivel del mar se utiliza la propiedad de ciclicidad angular, esto es decir que para que la señal de entrada adelante a la señal de salida, se le suma 360 grados a la fase (de valor negativo) de

la señal de respuesta, VISSER *** (c.p.), es decir que el tiempo de respuesta del nivel medio diario del mar a los factores meteorológicos es lento. Las admitancias muestran en el caso de la presión atmosférica vs nivel medio diario del mar, se puede decir que por cada milibar que aumente o disminuya la presión, el nivel del mar responde con una variación del orden de un centímetro hasta el orden de 3 centímetros.

En cuanto a la velocidad del viento vs el nivel medio diario del mar, se puede decir que el factor de amplificación es del orden de milímetros, en cuanto a la presión atmosférica este factor llega hasta el orden de una decena.

Cabe hacer el siguiente comentario, los análisis espectrales cruzados fueron con valores promedio diario, es decir que la información a obtenerse no es muy completa o detallada, puesto que por la resolución de este análisis, se abarcan eventos de 2 o más días de duración, además de que se debe considerar su corta duración.

La simulación de la magnitud de corrientes, indicó que en el segmento No. 2 son encontradas las mayores, esto es debido a que es el de menor área de cara transversal (figura No. 19), y el segundo en área superficial, prosigue el segmento No. 3, en este caso fue debido a que este segmento es el de mayor área superficial, involucrando el mayor volumen

*** André Visser, IIO, Ensenada B.C., México.

a ingresar o egresar, pero debido a que es el de mayor àrea transversal, esto ocasionò que las velocidades no fuesen superiores a las del segmento No. 2.

Las estimaciones de desplazamientos de contaminantes (en forma particular), mostraron que en el segmento No. 2 es donde de la magnitud es mayor (286 mts), prosigue el segmento No. 3 (107 mts) y el segmento No. 1 (75 mts), estos rangos son considerando la distancia entre la posiciòn màs cercana al interior de la darsena y la posiciòn màs alejada hacia el siguiente segmento (o el mar), apartir de su posiciòn inicial (vease anexo II para el mètodo utilizado para estos càculos).

Los esfuerzos y transportes ocasionados por el viento son presentados en la tabla V, los vientos que provienen del Nor-Oeste, Oeste, Nor-Nor-Oeste, Norte, Nor-Este, Este-Nor-Este y del Este son los que mayor esfuerzo y transporte ocasionan, esto es debido a las magnitudes de los vientos (promedio diario), permitiendo tener una idea de un transporte hacia la costa, siguiendo esta hacia el Oeste constantemente pero invirtiéndose en ocasiones hacia el Este (vea anexo II para informaciòn de esto).

TABLA .V. Esfuerzos del viento y transporte ocasionado por el viento.

Dirección	Tau	U ₁	U ₂	U ₃
NNE	0.08	0.64	0.28	0.53
NE	0.12	0.96	0.42	0.80
ENE	0.12	0.96	0.42	0.80
E	0.10	0.80	0.35	0.66
ESE	0.06	0.48	0.21	0.40
SE	0.08	0.64	0.28	0.53
SSE	0.04	0.32	0.14	0.26
S	0.04	0.32	0.14	0.26
SSW	0.07	0.56	0.24	0.46
W	0.23	1.85	0.80	1.53
WNW	0.10	0.80	0.35	0.66
NW	0.29	2.34	1.01	1.93
NNW	0.18	1.45	0.63	1.20
N	0.17	1.37	0.59	1.34

* U₁, U₂, U₃, son los transportes en los segmentos No. 1 No. 2, No. 3, en mts²*seg.

* TAU, es el esfuerzo del viento en kgs/(mts*seg²)

V. CONCLUSIONES

1.- La marea en el puerto de Dos Bocas, Tabasco, es mixta predominantemente diurna, el rango medio de marea es menor a un metro de amplitud, esto sugiere que este tipo de marea puede ser perturbada fácilmente por agentes externos a su generación, las componentes de aguas someras no son significantes en este lugar, las fases de las componentes armónicas obtenidas son una buena aproximación en base al segmento del cual fueron obtenidas.

2.- Los eventos meteorológicos (velocidad del viento y presión atmosférica), mostraron cierta influencia sobre el nivel del mar en ciclos de 12, 4.8, 3 y 2 días de período el viento presenta más afectación que la presión atmosférica la predominancia del viento por su dirección de proveniencia sugiere la acumulación o apilamiento de agua hacia la costa, afectando el nivel del mar.

3.- La simulación de los campos de velocidad por marea, mostró que sus magnitudes van desde mm/seg a cms/seg, siendo mayores durante el flujo de marea. La simulación de evacuado de contaminantes flotantes (véase anexo II), indicó que localizados en los primeros 50 metros de la boca del puerto son evacuados con facilidad en mareas vivas, dentro de la dársena del puerto los desplazamientos son casi estacionarios,

quedando expuestos a ser movilizados por la acción del viento, siendo desplazados por la constancia del viento hacia el lado Oeste de la darsena (y en ocasiones hacia el Este), si estos están dentro de la darsena, en caso de estar fuera de esta, presentan facilidad a ser adentrados (ver observaciones).

VI. OBSERVACIONES

1.- La información a obtenerse por medio de los análisis espectrales cruzados es solo una estimación, ya que no se contó con mediciones horarias de los eventos meteorológicos para más información a detalle.

2.- Un posterior análisis espectral cruzado entre la presión atmosférica, velocidad del viento (magnitud) y el nivel medio diario del mar a 24 bandas (en este trabajo se utilizaron solo 12 bandas), mostró que los valores de coherencia aumentaron lográndose una mayor separación, así se encontró que la afectación ocurre en eventos de:

16, 12, 10, 8, 4.36, 3.7, 3, 2.8, 2.5, y 2 días de período.

3.- La simulación del desplazamiento de contaminantes flotantes es una aproximación (ya que se asumieron de forma particular), dado que no se encontraron trabajos que describieran los movimientos de hidrocarburos en el medio ambiente expuestos a los efectos de corrientes superficiales y la acción del viento.

4.- Los transportes por viento son una estimación cuantitativa, ya que los datos son solo de ocho meses, como comentario se han presentado derrames de hidrocarburos (en mar abierto) estos han sido desplazados (no se han estimado cantidades) hacia el lado Oeste del puerto, y han sido adentrados hacia su interior.

5.- Se buscaron trabajos acerca de la elaboración de mapas cotidales del Golfo de México, se encontraron en GRIJALVA, (1964), que es una simulación numérica para la componente M2 y en DEFANT, (1961); se espera que en 1991 se cuente con este tipo de mapas, a ser elaborados por el CICESE, México.

6.- La gráfica que se presenta del nivel medio diario del mar en Coatzacoalcos, Ver. (GRIVEL, 1979), es solo un ejemplo comparativo de esta variación, para un mayor número de este tipo de gráficas, consulte el trabajo de este autor.

VII. BIBLIOGRAFIA

- AGUILERA GRIJALVA, F. A., 1977. Contribución al Conocimiento de la Laguna Mecoacán, Puerto Ceiba, Tabasco. Facultad de Ciencias Marinas, U.A.B.C., Ensenada B.C., México.
- ARGOTE ESPINOZA, M. L., GAVIDIA MEDINA, F. J., AMADOR BUENROSTRO, A., 1989. Wind-induced circulation in Todos Santos Bay, B. C., México. Enviado a Atmosphere.
- BATH, MARKUS, 1974. Spectral Analysis in Geophysics. Elsevier Scientific Publishing Company.
- BEER, TOM, 1983. Environmental Oceanography. Pergamon Press.
- BENDAT, S. JULIUS & PIERSOL, G. ALLAN, 1986. Random Data. Wiley-Interscience Publication.
- BEVINGTON, R. PHILIP, 1969. Data Reduction and Error Analysis for the Physical Sciences. McGraw-Hill.
- BRACEWELL, N. RONALD, 1989. The Fourier Transform. Scientific American. 260(6):62-69.
- BRIGHAM, ORAN E., 1974. The Fast Fourier Transform. Prentice-Hall Inc.
- CANDELA PEREZ, J., 1982. Corrientes en el Estrecho de Johnstone, B.C. Canada, Durante la Primavera y el Verano de 1973. Centro de Investigaciones Científicas y Superiores de Ensenada, B.C., México.
- CSANADY, G.T., 1984. Circulation in the Coastal Ocean. D. Reidel, Holland.

- DEFANT, A., 1958. Ebb and Flow. The University of Michigan Press.
1961. Physical Oceanography. Pergamon Press.
- DAMES & MOORE, 1978. Coastal flooding and erosion study proposed port facility near Dos Bocas, Bahia de Campeche. JOB No. 10675-005-88. Los Angeles, California.
- DE LA PAZ VELA, R., 1978. Hidrodinàmica y Dispersiòn de Contaminantes en el Estero de Punta Banda B.C. Facultad de Ciencias Marinas, U.A.B.C., Ensenada B.C., Mèxico.
- DELFT HYDRAULICS LABORATORY, 1980. Dos Bocas Harbour. Report on Investigation, M 1632, Volume VI, December 1980.
- FARRERAS, S. F., VILLALBA, F. A., 1980. Evacuaciòn de contaminantes segùn modelo numèrico en el Estero de Punta Banda, Baja California. Geofísica Internacional. 19(4).
- FOREMAN, M. G. G., 1977. Manual for Tidal Heights Analysis and Prediction. Pacific Marine Science report 77-10. Institute of Ocean Sciences, Patricia Bay, Victoria B.C.
- GAVIDIA MEDINA, F. J., 1988. Simulaciòn Nùmerica de la Circulaciòn en la Bahìa de Todos Santos B.C. Mèxico. Centro de Investigaciones Científicas y Estudios Superiores de Ensenada, B.C., Mèxico.
- GLENN, A. H. & ASSOCIATES, 1979. Persistence of storm and calm wave conditions and ocurrence of Nothers: Dos Bocas tanker terminal; Gulf of Campeche, off shore Carmen

Mèxico.

GODIN, GABRIEL, 1973. The Analysis of Tides. William Clowes and Sons Limited.

GRIJALVA ORTIZ, NICOLAS, 1964. Numerisch-Hydrodynamische Untersuchungen im Golf von Mexiko. Fakultät der Universität Hamburg.

GRIVEL PIÑA, F., 1979. Variaciones del Nivel Medio del Mar Puertos del Golfo de Mèxico y Mar Caribe. Datos Geofìsicos serie A, Oceanografìa S. UNAM, Mèxico.

HENDERSON, F. M., 1966. Open Channel Flow. The MacMillan Co. New York, N. Y.

IPPEN, A. T., 1966. Estuary and Coastline Hydrodynamics. MacGraw-Hill.

MATTHEWS, J.B. & MUNGALL, J.C.H., 1972. A Numerical tidal model and its application to Cook Inlet, Alaska. Journal of Marine Research. 30(1).

MELCHIOR, PAUL, 1983. The Tides of the Planet Earth. Pergamon Press.

OCAMPO TORRES, F. J., 1980. Anàlisis de Mareas y Predicciòn de Velocidad Mediante un Modelo Unidimensional en Bahìa de San Quintìn B.C. Facultad de Ciencias Marinas, U.A.-B.C., Ensenada B.C., Mèxico.

OEY L., MELLOR G., HIRES R., 1985. Tidal Modeling of the Hudson-Raritan Estuary. Publ. N.J. Sea Grant Program.

- PEARSON, CARL E. & WINTER, DONALD F., 1977. On the calculation of tidal currents in homogeneous estuaries. *Journal of Physical Oceanography*. 7(4).
- PEDLOSKY, JOSEPH, 1984. *Geophysical Fluid Dynamics*. Springer Verlag.
- PETROLEOS MEXICANOS, 1984. *Transportación Marítima y Administración Portuaria en Petroleos Mexicanos*. Revista de circulación interna.
1988. *Ecopemex, la tecnología al cuidado de la naturaleza*.
- POND, S. & PICKARD, G. L., 1986. *Introductory Dynamical Oceanography*. Pergamon Press.
- RAMMING, H.G. AND Z. KOWALIK, 1980. *Numerical Modelling of Marine Hydrodynamics*. Elsevier Oceanography Series, 26.
- RAZO MARTINEZ, A., 1983. *Evolución de la Línea de Costa en Presencia de Estructuras Costeras*. Facultad de Ciencias Marinas, U.A.B.C., Ensenada B.C., México.
- RESNICK, ROBERT Y HALLIDAY, DAVID, 1982. *Física*. Cia. Editorial Continental, S. A. de C. V., México. Volumen 1.
- RODRIGUEZ SALDAÑA, N., 1978. *Comparación de el Nivel Medio del Mar entre Ensenada e Isla de Guadalupe y su Relación con Eventos Meteorológicos y Oceanográficos*. Facultad de Ciencias Marinas, U.A.B.C., Ensenada B.C., México.

UNAM, 1979. Tabla de Predicciòn de Mareas, Puertos del Golfo de Mèxico y Mar Caribe.

1988, Calendario Gráfico de Mareas.

UNCLES, R.J. AND JORDAN, M.B., 1980. A One-dimensional representation of residual currents in the Severn Estuary and associated observations. Estuarine and Coastal Marine Science. 10(1):39-60.

U.S. ARMY COASTAL ENGINEERING RESEARCH CENTER, 1984. Shore Protection Manual. Superintendent of Documents, U.S. Government printing office Washington, D.C. 20402. Stock No.008-022-00113-1. U.S.A.

VIII. ANEXO I

El procedimiento utilizado para el análisis armónico se menciona a continuación, así como los criterios utilizados por lo problemático del registro.

Se inició con una inspección visual del registro del nivel del mar (ya que se tenían graficadas en hojas tamaño plano), permitiendo esto localizar errores en el nivel de referencia y/o posibles fallas en tiempo y, corregirlos.

En la obtención de las componentes de la marea, dado que este fue el primer análisis de la marea en la zona, se utilizaron los valores de amplitud y fase de las principales componentes de la marea de dos puertos ya estudiados con anterioridad, siendo Coatzacoalcos, Ver. (localizado al oeste) y Frontera, Tab. (localizado al este), sus respectivos valores son presentados en la tabla IV, estableciendo así un rango de validez.

Se realizó un primer análisis armónico, predicción y residuos, los valores de las principales componentes no se ubicaron dentro del rango esperado, los residuos mostraron gran similitud al registro del nivel del mar, indicando que el análisis no era fiable.

La visualización de estas tres gráficas permitió observar que el registro original presentaba fluctuaciones abruptas, ligeras tendencias, e irregularidades de la curva de marea, utilizando este gráfico se procedió por fragmentarlo,

asumiéndose que no existían continuidades en el tiempo.

El criterio de fragmentación se apoyo en que la curva de marea de estos segmentos presentara las menores irregularidades, se considerò ademàs que la duración de cada segmento no fuera menor de 30 días de período continuo, ya que para el análisis de registros del nivel del mar, es necesario que su duración sea de 369, 30 y hasta 15 días (POND & PICKARD, 1983).

Cada segmento fuè analizado por separado, predicción y residuos fueron obtenidos, se visualizaron gráficamente y por separado, los valores de amplitud y fase de las componentes armónicas no se ubicaron dentro del rango esperado, los residuos presentaron gran similitud al registro del cual se obtuvieron, el segundo análisis realizado no fuè satisfactorio.

De la primera fragmentación se realizò una segunda fragmentación, es decir, de cada segmento anterior fueron obtenidos màs fragmentos, considerando que la duración no fuera menor de un mes, con la finalidad de no tener un reducido número de componentes de marea, se les realizò su análisis, predicción y residuos, se encontrò un segmento que comprendió del 24/Octubre/87 al 24/Noviembre/87 con valores de amplitud y fase aceptables.

Los residuos de este segmento no se asemejaron al registro del nivel del mar, su gráfico fuè plano, esto apoyò que

fuese aceptable, los valores de sus componentes armónicas son presentados en la tabla II.

Se utilizò la predicciòn para corregir este segmento, asumiendo que no existiò un preciso control del tiempo, las correcciones fueron realizadas por medio de un programa de graficado simultàneo que permitiera desplazar la serie en el tiempo, las correcciones de tiempo fueron horarias, no de minutos, ya que se asumiò que la predicciòn realiza una simulaciòn, se observò ademàs que los desfases de minutos no eran contínuos.

Ocurrido lo anterior, se realizò un segundo anàlisis de este segmento, y con los valores de amplitud y fase se predijo un fragmento posterior de 30 dias de duraciòn, la finalidad fuè el aumentar la duraciòn del registro, llevando a cabo el procedimiento mencionado con anterioridad, hasta que el registro original lo permitiera, dado por que se encontraron segmentos en los cuales los desplazamientos eran mayores a tres horas.

Cabe hacer las siguientes observaciones:

- 1.- Se observaron fluctuaciones de las fases de las principales componentes de la marea.
- 2.- Se observò la existencia de envolventes de dias de duraciòn y la existencia de anomalías esporàdicas.
- 3.- El tiempo de flujo de marea es de menor duraciòn que el del reflujo.

Horas requeridas para la separaciòn de las componentes de la marea, obtenidas del registro final de 1800 horas de duraciòn (continua).

Componente	Horas	Componente	Horas
Z0	13	MM	764
MSF	355	ALP1	764
2Q1	662	Q1	662
O1	328	NO1	662
K1	24	J1	662
OO1	651	UPS1	662
EPS2	764	MU2	764
N2	662	M2	13
L2	764	S2	355
ETA2	662	MO3	656
M3	25	MK3	656
SK3	355	MN4	662
M4	25	SN4	764
MS4	355	S4	355
2MK5	24	2SK5	178
2MN6	662	M6	26
2MS6	355	2SM6	355
3MK7	24	M8	26

Tomado de Foreman (1977); 19-23.

IX. ANEXO II

Posterior aplicaciòn de la simulaciòn de las corrientes por marea, fuè el desplazamiento en este caso de contaminantes flotantes (por ejemplo: hidrocarburos), estos son regidos por corrientes superficiales y/o esfuerzo del viento.

La magnitud de las corrientes superficiales fuè simulada por medio de un modelo nùmerico unidimensional (mètodo parte II.IV), como aproximaciòn de desplazamientos se utilizò la ecuaciòn de movimiento en una dimensiòn con aceleraciòn (RESNICK Y HALLIDAY, 1982), esta es expresada como:

$$X = X_0 + v_0 * t + \frac{1}{2}(a * t^2)$$

Donde:

X= Posiciòn de la partìcula.

X₀= Posiciòn de la partìcula al tiempo cero.

v₀= Velocidad de la partìcula al tiempo cero.

a= Aceleraciòn de la partìcula.

t= Tiempo de duraciòn del desplazamiento.

La aceleraciòn es calculada a partir de la variaciòn de la velocidad en un tiempo t₁ y t₂.

$$a = (v_2 - v_1) / (t_2 - t_1)$$

En este caso, t₂-t₁ es una hora de duraciòn, se asume que la aceleraciòn es constante en este intervalo de tiempo, utilizando la ecuaciòn de movimiento unidimensional, X₀, v₀

y a corresponden a un tiempo cero, originando un desplazamiento X, este es utilizado como X_0 en el siguiente intervalo.

El siguiente desplazamiento es evaluado con la v_0 y la a que existen en ese intervalo, es decir, la magnitud del movimiento unidimensional del contaminante se considera de forma particular, calculándose a partir de la suma de varios movimientos aislados.

El esfuerzo del viento sobre una superficie de agua (esfuerzo de Reynolds) ocasiona un transporte, cuerpos flotantes son desplazados en un ángulo de 20 a 40 grados hacia la derecha de la dirección del viento (en el hemisferio norte) este se define como (POND & PICKARD, 1983):

$$\text{TAU} = \rho_w * C_D * W^2$$

Donde:

TAU= Es el esfuerzo del viento sobre la superficie del agua en $\text{kgs}/(\text{mts} * \text{seg}^2)$.

ρ_w = Densidad del aire en kgs/mts^3 .

C_D = Coeficiente de arrastre por el viento.

W= Velocidad del viento medida a una altura de 10 mts.

Wilson, 1960, (citado por RAMMING, 1980) determinó valores de C_D , estos son calculados por medio de la siguiente ecuación:

$$C_D = (0.9 - 0.08 \cdot 10^{-2} \cdot W) \cdot 10^{-3}$$

Donde W se maneja en cms/seg en esta fórmula.

En base al esfuerzo del viento se determina el transporte ocasionado (CSANADY, 1984), el cual es definido por la siguiente ecuación:

$$U = F \cdot t \cdot [1 - (H \cdot b) / S]$$

Donde:

U = Transporte ocasionado por el viento en $\text{mts}^2 \cdot \text{seg}$.

t = Tiempo de equilibrio del viento en la zona (estandar 10 horas).

H = Profundidad promedio del segmento.

b = Ancho del segmento.

F = TAU / Ro_a ; Ro_a es la densidad del agua.

S = Area del segmento.

El transporte por viento (U) es proporcional a $F \cdot t$, que es el impulso por el estress del viento, en aguas someras donde $H \cdot b / S < 1$, el estress es grande y el agua se acelera en sentido del viento, ocasionando un apilamiento, en aguas profundas el gradiente de la presión domina, y retorna un flujo desarrollado, este arrastre ocasionado por el viento depende de la magnitud del viento y de las dimensiones de la cuenca (ARGOTE, 1989).