

**CENTRO DE INVESTIGACION CIENTIFICA Y DE
EDUCACION SUPERIOR DE LORENADA**

**SOLUCION POR ANALISIS ESPECTRAL MULTIPLE AL
PROBLEMA DE LAS FALSAS CORRELACIONES ENTRE
VIENTOS, MAREAS Y CORRIENTES EN UNA LAGUNA
COSTERA**

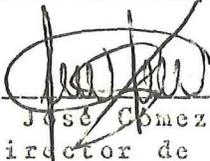
**T E S I S
MAESTRIA EN CIENCIAS**

Hector Santiago Vélez Muñoz

RESUMEN de la tesis que Héctor Santiago Vélez Muñoz presenta como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRO EN CIENCIAS en OCEANOGRAFIA con opción en OCEANOGRAFIA FISICA. Ensenada, Baja California, México. Mayo de 1986.

SOLUCION POR ANALISIS ESPECTRAL MULTIPLE AL PROBLEMA DE LAS FALSAS CORRELACIONES ENTRE VIENTOS, MAREAS Y CORRIENTES EN UNA LAGUNA COSTERA

Resumen aprobado por:


M.C. José Gómez Valdés
Director de tesis

En la laguna costera Ensenada de La Paz, B.C.S. se establecieron las relaciones lineales entre mareas, vientos y corrientes. Identificando a la marea y al viento como los agentes causales de las corrientes, la influencia de cada proceso fué estimada con el análisis de admitancia ordinario. Los resultados indican que las corrientes de marea dominan la energía de las corrientes observadas. Sin embargo, en la región interior se encontró que las corrientes de período diurno (7.5 % de la energía total) pueden explicarse tanto por marea (5.0 %) o viento (4.9 %), produciéndose una notoria sobrestimación de la energía al considerar ambos efectos.

La correlación, en este caso accidental, entre los agentes causales impide poder cuantificar con el análisis ordinario, la influencia real de cada uno de ellos.

Considerando al sistema perturbado simultáneamente por marea y viento, este trabajo muestra que el análisis espectral múltiple ofrece una solución al problema.

CENTRO DE INVESTIGACION CIENTIFICA Y DE
EDUCACION SUPERIOR DE ENSENADA

DIVISION DE OCEANOLOGIA
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA FISICA

SOLUCION POR ANALISIS ESPECTRAL MULTIPLE AL PROBLEMA
DE LAS FALSAS CORRELACIONES ENTRE VIENTOS, MAREAS
Y CORRIENTES EN UNA LAGUNA COSTERA

TESIS

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

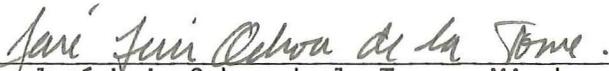
HECTOR SANTIAGO VELEZ MUNOZ

Ensenada, B. C., Mayo de 1936

TESIS APROBADA PARA SU DEFENSA POR:



M.C. José Gómez Valdés, Director del Comité



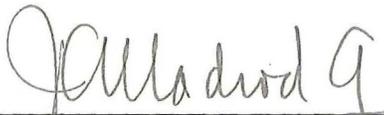
Dr. José Luis Ochoa de la Torre, Miembro del Comité



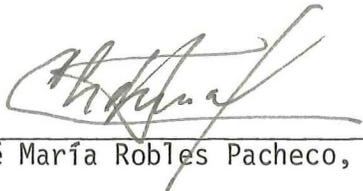
M.C. José María Robles Pacheco, Miembro del Comité



M.C. Silvio Guido Lorenzo Marinone Moschetto, Miembro del Comité



M.C. Juan Madrid González, Miembro del Comité



M.C. José María Robles Pacheco, Jefe del Departamento de Oceanografía Física



Dr. José Rubén Lara Lara, Director Interino de la División de Oceanología



M.C. Cuauhtémoc Nava Button, Director Académico Interino

Tesis presentada en Mayo 23, 1986

INDICE

1.- INTRODUCCION	1
1.1).- Antecedentes	3
1.1.1).- Análisis de sistemas	3
1.1.2).- Estudios realizados en la Ensenada de La Paz, D.C.S	4
2.- OBJETIVOS	6
3.- DATOS	7
3.1).- Area de estudio	7
3.2).- Información de campo	9
3.3).- Calidad de los datos	12
3.4).- Análisis espectral	15
4.- ANALISIS DE SISTEMAS: UNA ENTRADA / UNA SALIDA	22
4.1).- Función de Admitancia	22
4.2).- Marea / Marea	25
4.3).- Marea / Corriente	33
4.4).- Corriente / Corriente	38
4.5).- Viento / Corriente	40
5.-ANALISIS DE SISTEMAS : ENTRADA MULTIPLE/UNA SALIDA	44
5.1).- Funciones de coherencia parcial y múltiple	44
5.2).- Viento / Marea	48
5.3).- Marea - Viento / Corriente	49
6.- DISCUSION	57
7.- CONCLUSIONES	64
LITERATURA CITADA	65
APENDICE I: Teoría lineal unidireccional	67
APENDICE II: Modos forzados de oscilación	71

LISTA DE FIGURAS

<u>Figura</u>		<u>Página</u>
1	Localización del Area de Estudio y de las Estaciones de muestreo. Batmetría referida a NDMI	3
2	Series de tiempo típicas en la Ensenada de La Paz	10
3	Densidad espectral del nivel del mar en Comitán para Noviembre 1980	17
4	Densidad espectral de la señal de corriente de la estación 'E' para Noviembre 1980	19
5	Densidad espectral de la señal del viento de la estación 'Conchalitos' para Noviembre 1980	20

LISTA DE TABLAS

<u>Tabla</u>		<u>Página</u>
I	Ejes de proyección para las componentes de velocidad de la estación 'E' de corrientes	14
II	Análisis de admitancia entre el nivel del mar de las estaciones 'La Paz' y 'Comitán' para el periodo del 1 al 27 de Noviembre de 1980	26
III	Análisis de admitancia por periodos parciales entre el nivel del mar de las estaciones 'La Paz' y 'Comitán' para Noviembre de 1980	29
IV	Análisis de admitancia entre el nivel del mar de las estaciones 'La Paz' y 'Guaycura' para el periodo del 13 de Abril al 6 de Mayo de 1980	30
V	Análisis de admitancia por periodos parciales entre el nivel del mar de las estaciones 'La Paz' y 'Guaycura' para Abril-Mayo de 1981	32
VI	Análisis de admitancia entre el nivel del mar de la estación 'Comitán' y la corriente de la estación 'E' para el periodo del 13 al 23 de Noviembre de 1980	35
VII	Análisis de admitancia entre el nivel del mar de la estación 'La Paz' y la corriente de la estación 'A1' para el periodo del 10 de Abril al 1 de Mayo de 1981	37
VIII	Análisis de admitancia entre la componente 'u' de velocidad de superficie y fondo de la estación 'B' para el periodo del 2 al 22 de septiembre 1982	39

LISTA DE TABLAS (CONTINUACION)

<u>Tabla</u>		<u>Página</u>
IX	Análisis de admitancia entre la componente 'u' de la velocidad del viento y de la corriente de las estaciones 'Conchalitos' y 'E' para el periodo del 2 al 23 de Noviembre de 1980	41
X	Análisis de admitancia para la componente 'u' de la velocidad del viento y la corriente de las estaciones 'Conchalitos' y 'A1' para el periodo del 10 de Abril al 1 de Mayo de 1981	43
XI	Análisis de admitancia entre el nivel del mar y el viento de las estaciones de 'Comitán' y 'Conchalitos' para el periodo del 2 al 23 de Noviembre de 1980	50
XII	Funciones de coherencia ordinaria, parcial y múltiple para el análisis de las relaciones entre nivel del mar, viento y corriente de las estaciones 'Comitán, 'Conchalitos' y 'E' para el periodo del 2 al 23 de Noviembre de 1980	52
XIII	Funciones de coherencia ordinaria, parcial y múltiple para el análisis de las relaciones entre viento, nivel del mar y corriente de las estaciones 'Comitán, 'Conchalitos' y 'E' para el periodo del 2 al 23 de Noviembre de 1980	54
XIV	Funciones de coherencia ordinaria, parcial y múltiple para el análisis de las relaciones entre nivel del mar, viento y corriente de las estaciones 'La Paz, 'Conchalitos' y 'A1' para el periodo del 10 de Abril al 1 de Mayo de 1981	56

SOLUCION POR ANALISIS ESPECTRAL MULTIPLE AL PROBLEMA
DE LAS FALSAS CORRELACIONES ENTRE VIENTOS, MAREAS
Y CORRIENTES EN UNA LAGUNA COSTERA

1 .- INTRODUCCION

En este trabajo se analizan las relaciones lineales entre mareas, vientos y corrientes en la Ensenada de La Paz, B. C. S.

Es bien conocido que la marea oceánica, el forzamiento por viento y el calentamiento solar constituyen los agentes perturbativos más importantes en la dinámica de las lagunas costeras. Los agentes disipativos actuantes en estos sistemas, vienen a ser los esfuerzos friccionales internos y la fricción en el fondo y las fronteras de las cuencas.

También se conoce bastante bien que:

1) Las mareas en el Pacífico tienen representación mixta, con predominancia semidiurna;

2) Los vientos en la zona costera poseen una fuerte componente diurna;

3) Y una laguna cerrada muestra un máximo y un mínimo de temperatura cada día, debido a la variación del calentamiento solar.

Siendo (1), (2) y (3) los mecanismos principales que mueven las aguas de las lagunas costeras, y en vista que tienen como denominador común la variación diurna, es de esperarse que los registros de corrientes muestren alta energía en la banda diurna. Bien. Pero el problema se presenta a la hora de intentar cuantificar en bandas de frecuencia, las contribuciones de cada uno de estos procesos.

Este trabajo pretende mostrar, con los fenómenos (1) y (2), que el análisis espectral múltiple resuelve el problema. Para ello, primero se estudian las relaciones lineales de los sistemas marea-corriente, viento-corriente, considerando a las entradas (marea, viento) nulamente correlacionadas. Después se presenta el sistema marea, viento - corriente, considerando la correlación accidental entre las entradas (marea, viento).

1.1).- Antecedentes

1.1.1).- Análisis de sistemas.

Conceptualizando a un sistema ambiental como físico y lineal es posible mediante el análisis de admitancia ordinario estimar la función de respuesta característica, con relación a un mecanismo particular de perturbación (Bendat y Piersol, 1971). Con el análisis de las funciones se pueden identificar los procesos físicos más importantes.

Sin embargo, el uso del análisis de admitancia ordinario está limitado a establecer la relación entre una causa y un efecto. En sistemas perturbados por diferentes procesos, con este análisis generalmente no es posible establecer el efecto relativo de cada uno de ellos en la respuesta del sistema. El análisis de admitancia para sistemas de entrada múltiple representa una opción (Bendat, 1976a).

Este análisis, de uso relativamente reciente, se ha aplicado en estudios de acústica, electrónica y

aeronáutica (Bendat y Piersol, 1980). En estudios oceanográficos no se tienen referencias de su aplicación.

1.1.2).- Estudios realizados en la Ensenada de La Paz, B.C.S.

Estudios enfocados al conocimiento de los procesos físicos en la Ensenada de La Paz se han realizado desde la década de los 70s. De interés para este trabajo son los resultados siguientes.

Godin et al. (1980) con el análisis armónico de la marea para la costa occidental de México, reporta que en el puerto de La Paz, B.C.S. las armónicas principales son: en la banda diurna, las componentes K1 (fase: 84 grados, amplitud: 25 cm) y O1 (81 grados, 17 cm) y en la banda semidiurna las componentes M2 (274 grados, 23.8 cm) y S2 (272 grados, 18 cm).

Morales Guerrero (1982), empleando el análisis de correlación cruzada y gráficas simultáneas de las series de nivel del mar, reporta un posible desfase de la señal, entre los puntos extremos de la Ensenada,

cercano a 58 min y una amplificación de 7 cm.

Mediante la aplicación de un modelo numérico unidimensional basado en la ecuación de continuidad, Morales Guerrero y Cabrera Muro (1982) observan que la circulación actuante es principalmente el resultado de la acción directa de las mareas y de los efectos batimétricos.

Con base en el análisis armónico, espectral y de admitancia ordinario y rotacional, Sandoval Mayorquín (1983) reporta la amplitud y fase de las principales constantes armónicas de la marea en la laguna. Encuentra que las corrientes son fuertes y rectilíneas en la zona del canal principal y débiles y giratorias en las regiones interiores.

2 .- OBJETIVOS

El objetivo principal de este estudio consiste en aplicar la técnica de análisis espectral múltiple para estimar estadísticamente la influencia relativa de los agentes causales marea y viento, en los registros de corrientes de la Ensenada de La Paz, B.C.S.

Como trabajo previo para la pretensión anterior, estudiar las relaciones lineales entre marea - corrientes, marea - viento y viento - corrientes y confrontar los resultados de la relación marea - corrientes con la teoría lineal.

3 .- DATOS

3.1).- Area de estudio

La laguna costera Ensenada de La Paz se encuentra en la parte Sureste de la Península de Baja California, en comunicación permanente con la Bahía de La Paz (Fig. 1). Tiene 11 km de longitud, 7 km de anchura en la parte Oeste y 4 km en la central. En el Este presenta un canal de 4 km de longitud, con anchura de 2 km hacia la bahía y 1 km en promedio.

De la batimetría destacan dos regiones: la zona de canales de marea, de 7 km de longitud, con profundidad media de 6.5 m, y las áreas de almacenamiento, someras en la parte Sur y más profundas en la Norte.

3.2).- Información de campo.

Se cuenta con información hidrográfica y meteorológica en tres períodos de medición. El primero del 31 de octubre al 28 de noviembre de 1980, el segundo del 9 de abril al 8 de mayo de 1981 y el tercero del 1 al 25 de septiembre de 1982. Curvas típicas de registros del nivel del mar, corrientes y vientos se muestran en la figura 2.

Nivel del Mar.- Las series se obtuvieron en tres estaciones de muestreo denominadas Comitán, CICIMAR y Guaycura (Fig. 1), esta última localizada fuera de la Ensenada, pero dentro de la Bahía de La Paz. Se cuenta además con la predicción en el muelle fiscal de La Paz, serie proporcionada por la Sección de Mareografía del CICESE.

Equipo de campo: Mareografos Kahlsico #311 Wa840 de registro continuo con precisión 1 cm y Mareografos Bristol #163x628 con precisión 2.5 cm.

Corrientes.- Se obtuvieron registros de corrientes superficiales en las estaciones denominadas: B, E y A1 (Fig. 1). En la estación B se registraron corrientes cerca del fondo. Las corrientes de superficie fueron medidas a 2 m bajo el nivel de baja mar media inferior y

las de fondo a 2 m sobre el fondo.

Equipo de campo: correntómetros Endeco 105 con registro, en película fotográfica, de rapidez y dirección cada 30 min con precisión de 3% y 2% de las escalas respectivas.

Vientos.— Se obtuvieron registros de rapidez y dirección del viento en la estación denominada 'Conchalitos' (Fig. 1)

Equipo de campo: anemógrafo Kahlsico #02AM300 de medición continua con precisión de 5 m/seg en rapidez y 5 grados en dirección. El anemógrafo fué colocado a 10 m sobre el nivel del suelo.

3.3).- Calidad de los datos

Se realizó el análisis de calidad de datos de las series de nivel del mar, corrientes y vientos empleadas en este estudio.

Nivel del mar.- Un primer análisis de los datos, una vez digitalizados, consistió en graficar, estandarizadas a un mismo nivel de referencia (NBMI), las distintas series, conjuntamente con la serie de predicción. Los datos visiblemente 'disparados' en amplitud fueron corregidos mediante interpolación, empleando para ello los segmentos adyacentes aparentemente confiables.

Un segundo análisis de los datos, incluyendo los de corrientes y vientos, se realizó con el establecimiento de las relaciones lineales entre las distintas series. Como ejemplo de lo efectuado con cada registro, en la Sección 4 se muestra el correspondiente a las series del nivel del mar de las estaciones Comitán y Guaycura.

Corrientes.- Los datos se proyectaron del Norte magnético de referencia de los aparatos al sistema trigonométrico.

El primer análisis consistió en graficar las series originales y corregir, mediante interpolación, los datos visiblemente erróneos.

Dada la forma particular de la laguna, que es más larga que ancha, y la presencia de un sistema de canales que corren a lo largo de ella, se espera una diferencia marcada entre el movimiento longitudinal y el transversal. Por ello se refirieron los datos al sistema de ejes 'naturales' de la laguna.

Se tomaron dos criterios para estimar la orientación probable de esos ejes. Primero, con base en la carta batimétrica, se buscó el ángulo del canal más cercano a la estación de corrientes a considerar. Después, se consideró la información de las elipses componentes de cada banda de energía, obtenidas por Sandoval Mayorquín (1983), en las cuales el ángulo del eje mayor indica la dirección preferencial de la corriente. Las orientaciones consideradas fueron las correspondientes a las bandas de mayor energía.

La raíz del valor cuadrático medio (RVCM) de cada componente de velocidad fué el estimador de la intensidad para las distintas orientaciones. El parámetro estadístico 'RVCM' se evalúa mediante la relación,

$$RVCM = [(\text{promedio})^2 + (\text{variancia})^2]^{\frac{1}{2}}$$

Como ejemplo del análisis efectuado en cada registro se muestra el correspondiente a la estación 'E' (Tabla I).

Tabla I.- EJES DE PROYECCION PARA LAS COMPONENTES DE VELOCIDAD DE LA ESTACION 'E' DE CORRIENTES

PROMEDIO		VARIANCIA		RVCM	
u	v	u	v	u	v
EJES GEOGRAFICOS					
1.54	0.09	9.85	4.12	12.23	4.13
ORIENTACION 30 GRADOS					
- 1.38	- 0.68	12.05	1.93	13.97	2.40
ORIENTACION 37 GRADOS					
- 1.29	- 0.85	11.81	2.17	13.47	2.89

En la estación 'E' la intensidad más alta de la componente 'u' se obtiene con el sistema de ejes girados 30 grados respecto a los trigonométricos. Este ángulo representa la orientación del eje mayor de la elipse de la banda semidiurna.

Vientos.- El trabajo preliminar con los datos del viento consistió en proyectar del Norte magnético de referencia de los aparatos de medición a los trigonométricos.

Se evaluó, por medio del radio de deformación de Rossby $[(gh)^{\frac{1}{2}}/f]$ y la anchura característica del canal, la importancia relativa del efecto de rotación. El cociente (0.009) indica que es válido considerar que tal efecto no es importante en la Ensenada.

Así, para el estudio de la importancia del viento en el movimiento horizontal del campo de masa, se proyectaron los datos al mismo sistema de ejes usado finalmente en los datos de corrientes.

3.4).- Análisis espectral

Mediante la transformada rápida de Fourier se obtuvieron los espectros de potencia de las series de tiempo empleadas en este estudio.

Para conjuntar en bandas separadas las frecuencias diurnas, semidiurnas, terciurnas, etc., el análisis de

los registros del nivel del mar, con intervalo de muestreo de 1.0 hora, se realizó con 12 bandas de frecuencia y el de los registros de corrientes y vientos, con intervalo de 0.5 hrs., con 24 bandas. El ancho de banda es en cada caso 0.0417 ciclos/hora (c/h).

En esta sección se muestran curvas típicas de la estructura espectral de las series. La información numérica se presenta en las tablas del análisis de admitancia (Sección 4).

Nivel del mar.-

La estructura espectral se caracteriza por dos bandas de alta energía, la diurna o banda 1 y la semidiurna o banda 2, identificadas por las frecuencias de referencia de 0.0417 y 0.0833 c/h, respectivamente. Esta característica resulta común en todas las series analizadas, por esta razón sólo se detallan los rasgos encontrados en la estación mareográfica de Comitán, para el período de noviembre 1980 (Fig 3).

En esta estación las bandas señaladas representan el 98.2 % de la energía. La banda semidiurna es la más energética (58.4 %) y la diurna la siguiente en importancia (39.0 %). Este patrón se presenta en todas

las series de nivel del mar de la laguna.

Las 10 bandas restantes agrupan el 1.8 %. De ellas, la banda cero resulta la más importante (0.75 %).

Corrientes

En la estación A1, situada en el canal principal, la banda semidiurna se presenta como la componente principal (84.5 %) y la diurna la segunda en importancia (12.2 %). Las 22 componentes restantes contienen el 3.3 % adicional, de las cuales la tercediurna resulta la más energética (0.9 %).

En la estación 'E', representativa de la región interior, la estructura espectral (Fig. 4) identifica a la banda semidiurna como la componente principal (77.0 %). Con menor energía resultan las bandas diurna (7.5 %) y cero (3.7 %). El 11.8 % de energía restante se agrupa entre las componentes de período corto, de las cuales no destaca ninguna.

Vientos La estructura espectral del viento se caracteriza en el período de noviembre de 1980 (Fig. 5), por dos bandas de alta energía: la banda diurna (60.0 %) y la semidiurna (16.26 %), mientras que las bandas cero y

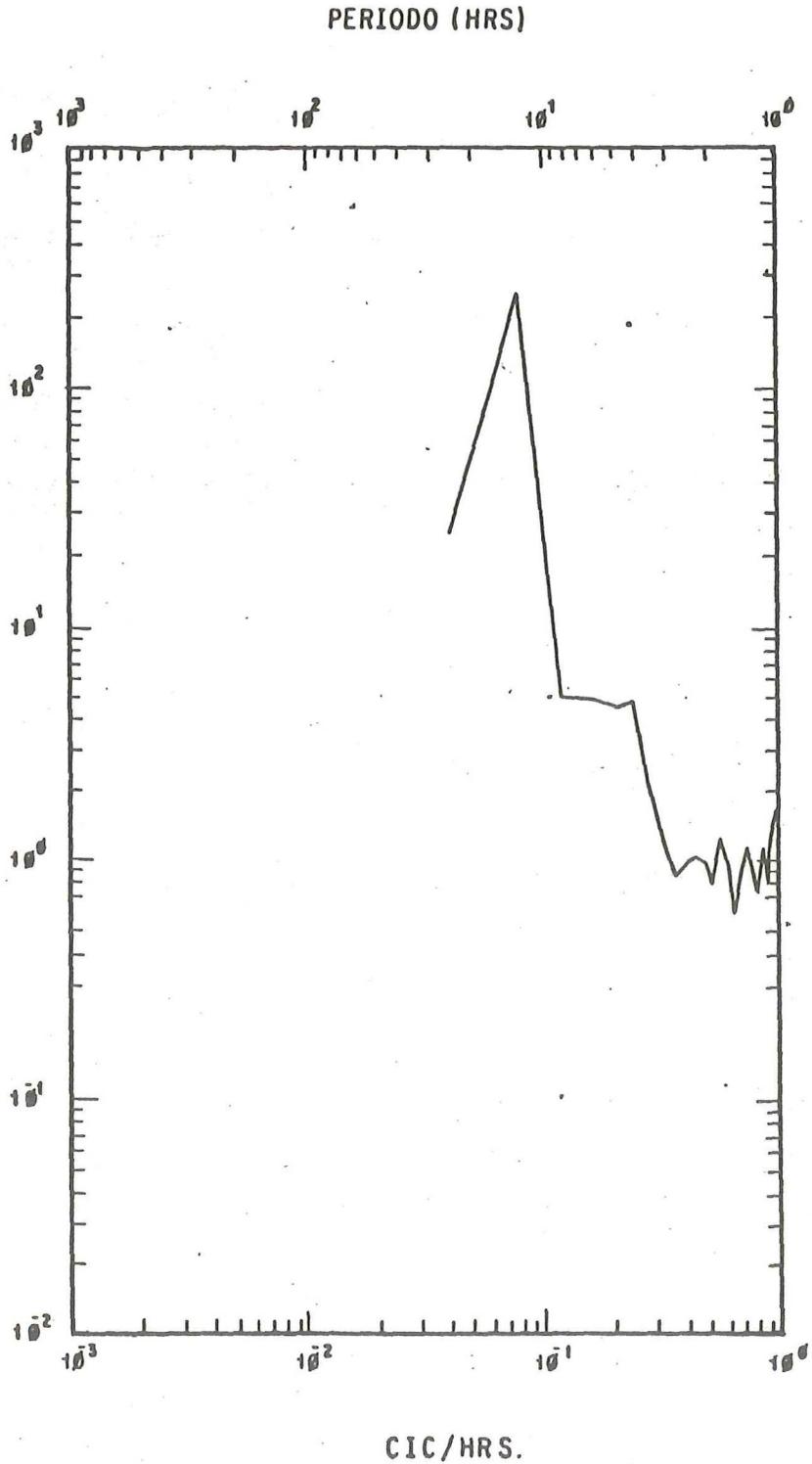


Fig.4.- Densidad espectral de la señal de corrientes de la estación 'E' para Noviembre de 1980

tercidiurna representan el 7.5 y el 6.7 % respectivamente.

En el periodo de abril de 1981, la banda diurna contiene el 33.4 % de la energía, la semidiurna el 8.4 % y la banda cero resulta la más energética (46.58 %).

La estructura espectral del viento señala que la energía se encuentra repartida en distintas bandas, pero su importancia relativa varía de un periodo a otro. e.g., las bandas diurna y semidiurna representan en el periodo de 1980 el 76.2 % de la energía total, mientras que en 1981 solo el 41.8 %.

4 .- ANALISIS DE SISTEMAS: UNA ENTRADA / UNA SALIDA

4.1).- Función de Admitancia

Si un sistema lineal, físicamente realizable y de parámetros constantes se perturba con una señal de entrada $x(t)$, que represente a un proceso estacionario, se generará una respuesta $y(t)$ también estacionaria.

El estudio de las propiedades dinámicas de los sistemas físicos se lleva a cabo preferentemente en términos de alguna transformación lineal de $h(T)$ (función de peso). En particular, la transformación de Fourier conduce a una descripción apropiada de los sistemas. La expresión,

$$H(f) = \int_0^{\infty} h(T) \exp [-i(2\pi fT)] dT \quad (1)$$

se conoce como la función de respuesta en frecuencia para un impulso unitario. En el caso de una señal arbitraria $x(t)$, generadora de una respuesta $y(t)$, la función de respuesta $H(f)$ o función de admitancia se define mediante la relación,

$$H(f) = G_{xy}(f) / G_x(f), \quad (2)$$

donde,

$G_{xy}(f)$: Espectro cruzado entre la entrada y la salida,

$G_x(f)$: Espectro de la serie de entrada.

Dado que el espectro cruzado es una cantidad compleja, la función de admitancia resulta compleja tal que se puede expresar,

$$H(f) = |H(f)| \exp(-j\theta(f)), \quad (3)$$

donde,

$$|H(f)| = |G_{xy}(f)|^2 / G_x(f), \quad (4)$$

$$\theta(f) = \text{Tan}^{-1} \{- \text{IM} [H(f)] / \text{RE} [H(f)]\}, \quad (5)$$

$|H(f)|$: módulo o ganancia y $\theta(f)$: fase.

La función de admitancia representa una estimación de la dependencia espectral entre las señales. El módulo o ganancia indica la amplificación o atenuación de la amplitud de la señal en el sistema. La fase representa el tiempo de respuesta del mismo.

La función de coherencia ordinaria proporciona información similar al coeficiente de correlación en tiempo e indica la confiabilidad de la función de respuesta calculada. La función de coherencia ordinaria

cuadrática se define como,

$$\gamma^2_{xy}(f) = |G_{xy}(f)|^2 / G_x(f) G_y(f), \quad (6)$$

$$\text{donde} \quad : \quad 0 \leq \gamma^2_{xy}(f) \leq 1.$$

Puesto que $H(f)$, dada por (3), (4) y (5), es una estimación de la verdadera función de respuesta, se deben establecer sus rangos de confianza. Con base en la función de coherencia es posible efectuar tal evaluación.

El error probable respecto al factor de ganancia resulta,

$$\tilde{r}^2(f) = (2/n-2) F_{2,n-2,\alpha} [1 - \gamma^2_{xy}(f)] G_y(f)/G_x(f), \quad (7)$$

donde,

$n = 2BeT$: Número de grados de libertad

Be : Ancho de banda

T : Número de datos

$F_{2,n-2,\alpha}$: Distribución F (Fisher's)

$\alpha = 1.0$ - la probabilidad que el error no exceda a \tilde{r} .

El error de fase es,

$$\Delta\theta(f) = \text{Sen}^{-1} [\tilde{r}(f) / |H(f)|]. \quad (8)$$

4.2).- Marea / Marea

Se realizaron dos tipos de análisis, uno con base en el período completo de medición y otro con distintos intervalos de los registros, esto con el fin de detectar cambios en las funciones de respuesta de un intervalo a otro, los cuales pueden indicar cambios reales en la respuesta del sistema o problemas con los aparatos de medición (Godin, 1976)

Para la evaluación de las funciones de respuesta se consideró como señal de entrada a la predicción del nivel del mar en el muelle fiscal del puerto de La Paz B.C.S. y como señal de respuesta al nivel del mar de las otras estaciones mareográficas.

La Paz / Comitán.- De acuerdo a los valores de coherencia las funciones de respuesta de las bandas diurna y semidiurna resultan confiables. Las coherencias se presentan mayores que 0.995 y las incertidumbres, al 95 % de confianza, resultan en promedio de 1.4 grados en la fase y de 0.02 (adimensional) en la ganancia.

En el análisis del período completo (Tabla II), el tiempo de respuesta resulta 7.71 grados (30.8 minutos) en

TABLA II .- ANALISIS DE ADMITANCIA ENTRE EL NIVEL DEL MAR
DE LAS ESTACIONES 'LA PAZ' Y 'COMITAN' PARA
EL PERIODO DEL 1 AL 27 DE NOVIEMBRE DE 1980

MAREA - MAREA

INTERVALO : 1.00 HRS NO.PTS : 648 (NO.FINAL= 1024)

BANDA	C/H	D. ESPECTRAL ENTRADA	D. ESPECTRAL SALIDA	COHE	FASE	ADMIT
0	0.0000	0.4158E-01	0.4570E 00	0.683	-35.89	2.265

1	0.0417	0.1121E 02	0.1209E 02	0.998	7.71	1.036
2	0.0833	0.1577E 02	0.1772E 02	0.997	14.87	1.057
3	0.1250	0.4269E-01	0.2166E 00	0.893	9.39	2.012

4	0.1667	0.6454E-02	0.4269E-01	0.722	48.82	1.857
5	0.2083	0.2246E-03	0.1446E-01	0.153	5.07	1.227
6	0.2500	0.5944E-03	0.9753E-02	0.741	8.85	3.001
7	0.2917	0.4054E-04	0.7806E-02	0.422	-38.66	5.858
8	0.3333	0.8072E-04	0.2237E-02	0.216	-49.55	1.136
9	0.3750	0.1836E-04	0.2723E-02	0.195	7.21	2.370
10	0.4167	0.1287E-04	0.1876E-02	0.244	-54.82	2.944
11	0.4583	0.1157E-04	0.2021E-02	0.127	-110.03	1.682
12	0.5000	0.2569E-04	0.1936E-02	0.169	96.95	1.465

LA PAZ

COMITAN

ENERGIA TOTAL : 0.1128E 01

ENERGIA TOTAL : 0.1265E 01

BANDA :

1 41.43 %
2 58.30 %
1+2 99.74 %

BANDA :

1 39.86 %
2 58.40 %
1+2 98.25 %

ERRORES PARA LA ESTIMACION

BANDA :

1
2
3

ERROR DE

FASE

1.36
1.53
10.11

ERROR DE

GANANCIA

0.025
0.028
0.353

la banda diurna y 14.87 (29.7) en la semidiurna. Las fases positivas indican que el fenómeno ocurre primero en La Paz y se propaga hacia Comitán. La diferencia (1.1 min) entre el arribo a Comitán de la señal diurna y semidiurna, no resulta significativa puesto que los errores probables de cada estimación son mayores.

La distancia entre las estaciones es de aproximadamente 10.5 km. El resultado de fase indica que la velocidad observada, en las dos bandas, es cercana a 21 km/hr. La velocidad de propagación teórica (Apéndice I), sin considerar fricción y con 4.7 m como profundidad típica del transecto, resulta de 24.4 km/h. La cercanía de resultados sugiere que, al considerar el efecto de fricción, la fase reportada es físicamente probable.

El factor de ganancia indica que la señal se amplifica un poco hacia el interior de la laguna. Las amplificaciones, 3.6 % en la señal diurna y 5.7 % en la semidiurna, presentan en promedio una incertidumbre del 2.6 %.

La coherencia de la banda terciurna resulta relativamente baja (0.39). La fase indica un retardo de 9.39 grados (12.52 min), pero el error de estimación es mayor (10.11 grados). Entonces, la función de respuesta

de esta banda y las de todas las restantes, con coherencias aún menores, estadísticamente no son confiables.

Las diferencias de fase y ganancia, entre el período total y los dos períodos parciales (Tabla III), resultan menores que los errores probables de cada estimación. Resultado que indica, referente a la calidad de datos, que en el período de medición no se presentaron variaciones en la respuesta de los aparatos, por ello se puede considerar que la serie de tiempo es confiable.

La Paz / Guaycura. - En Guaycura el análisis señala que las funciones de respuesta de las bandas diurna y semidiurna se presentan confiablemente establecidas. Estas bandas representan el 99.4 % de la energía total.

En el período completo (Tabla IV) la coherencia de la banda diurna resulta alta (0.997) y las incertidumbres bajas, 1.63 grados en la fase y 0.029 en la ganancia. La fase (-6.98 grados) indica que la señal se propaga hacia el Sur de la bahía. El tiempo de respuesta equivale a 28 min. Considerando que 5 km sea la separación que el frente de la onda tiene entre Guaycura y el muelle fiscal, la velocidad de propagación observada resulta 10.7 km/hr. El factor de ganancia (0.996) sugiere una leve atenuación

TABLA III.- ANALISIS DE ADMITANCIA POR PERIODOS PARCIALES
ENTRE EL NIVEL DEL MAR DE LAS ESTACIONES
'LA PAZ' Y 'COMITAN' PARA 1980

MAREA - MAREA

INTERVALO : 1.00 HRS NO.PTS : 320 (NO.FINAL= 512)

a).- PERIODO DEL 1 AL 14 DE NOVIEMBRE

BANDA	C/H	D. ESPECTRAL ENTRADA	D. ESPECTRAL SALIDA	COHE	FASE	ADMIT
0	0.0000	0.2971E-01	0.1699E 00	0.426	-3.81	1.019
1	0.0417	0.8202E 01	0.8825E 01	0.999	7.92	1.036
2	0.0833	0.1642E 02	0.1843E 02	0.999	14.05	1.059
3	0.1250	0.2826E-01	0.1408E 00	0.840	-8.09	1.876

LA PAZ
ENERGIA TOTAL : 0.1029E 01
BANDA :

1	33.25 %
2	66.55 %

COMITAN
ENERGIA TOTAL : 0.1149E 01
BANDA :

1	32.02 %
2	66.88 %

BANDA:	ERROR DE FASE	ERROR DE GANANCIA
1	1.33	0.024
2	1.26	0.023
3	19.53	0.627

b).- PERIODO DEL 15 AL 26 DE NOVIEMBRE

BANDA	C/H	D. ESPECTRAL ENTRADA	D. ESPECTRAL SALIDA	COHE	FASE	ADMIT
0	0.0000	0.6210E-01	0.5972E 00	0.604	-22.37	1.872
1	0.0417	0.1358E 02	0.1474E 02	0.997	8.44	1.039
2	0.0833	0.1639E 02	0.1847E 02	0.995	15.66	1.057
3	0.1250	0.6737E-01	0.3142E 00	0.935	15.90	2.019

LA PAZ
ENERGIA TOTAL : 0.1254E 01
BANDA :

1	45.14 %
2	54.50 %

COMITAN
ENERGIA TOTAL : 0.1414E 01
BANDA :

1	43.46 %
2	54.46 %

BANDA:	ERROR DE FASE	ERROR DE GANANCIA
1	2.19	0.040
2	2.83	0.052
3	11.36	0.398

TABLA IV .- ANALISIS DE ADMITANCIA ENTRE EL NIVEL DEL MAR
DE LAS ESTACIONES 'LA PAZ' Y 'GUAYCURA' PARA
EL PERIODO DEL 13 DE ABRIL AL 6 DE MAYO DE 1981

MAREA - MAREA

INTERVALO : 1.00 HRS NO.PTS : 576 (NO.FINAL= 1024)

BANDA	C/H	D. ESPECTRAL ENTRADA	D. ESPECTRAL SALIDA	COHE	FASE	ADMIT
0	0.0000	0.2539E-01	0.1905E 00	0.481	19.15	1.318

1	0.0417	0.7383E 01	0.7366E 01	0.997	-6.98	0.996
2	0.0833	0.1597E 02	0.1740E 02	0.998	-17.29	1.042
3	0.1250	0.2629E-01	0.1525E-01	0.360	-20.27	0.274

4	0.1667	0.5295E-02	0.1318E-01	0.556	-99.18	0.878
5	0.2083	0.2523E-03	0.2408E-02	0.286	-2.49	0.885
6	0.2500	0.1103E-02	0.3062E-02	0.649	-95.65	1.081
7	0.2917	0.3128E-04	0.1819E-02	0.102	170.68	0.775
8	0.3333	0.8825E-04	0.1432E-02	0.528	177.27	2.129
9	0.3750	0.2009E-04	0.2200E-02	0.182	67.84	1.909
10	0.4167	0.1934E-04	0.5051E-02	0.229	-139.75	3.700
11	0.4583	0.1819E-04	0.3352E-02	0.240	-46.79	3.263
12	0.5000	0.1660E-04	0.3277E-02	0.122	-84.98	1.721

LA PAZ

GUAYCURA

ENERGIA TOTAL : 0.9759E 00

ENERGIA TOTAL : 0.1039E 01

BANDA :

1	31.55 %
2	68.25 %
1+2	99.80 %

BANDA :

1	29.57 %
2	69.85 %
1+2	99.42 %

ERRORES PARA LA ESTIMACION

BANDA:

1
2
3

ERROR DE

FASE

1.68
1.28
18.23

ERROR DE

GANANCIA

0.029
0.023
0.579

de la amplitud hacia el muelle fiscal, resultado no significativo dada la incertidumbre de la estimación (0.04).

En la banda semidiurna, la coherencia asociada es de 0.998, la incertidumbre en la fase de 1.28 grados y en la ganancia de 0.023. La fase (-17.29 grados) equivale a un retardo de 34.5 min. La velocidad de propagación observada resulta 8.7 km/hr. El factor de ganancia (1.04) señala una amplificación (4.0 %) de la amplitud hacia el muelle fiscal.

La velocidad de propagación teórica de las señales es 17.1 km/hr., para una profundidad típica de 2.3 m, la diferencia con los valores observados es notoria, igualmente que la diferencia (8 km/hr.) en la velocidad de propagación de las señales diurna y semidiurna.

El análisis por periodos parciales (Tabla V) indica cambios de fase pequeños, en general menores de 1.0 grado y menores que las incertidumbres, esto sugiere que no se presentan problemas con el tiempo de referencia de los datos. Sin embargo, cambios significantes ocurren en el factor de ganancia, principalmente en la banda semidiurna, en la cual la amplificación del 4.0 %, reportada en el periodo total, varía del 1.0 al 7.0 % en los periodos

TABLA V .- ANALISIS DE ADMITANCIA POR PERIODOS PARCIALES
ENTRE EL NIVEL DEL MAR DE LAS ESTACIONES
'LA PAZ' Y 'GUAYCURA' PARA 1981

MAREA - MAREA

INTERVALO : 1.00 HRS NO. PTS : 288 (NO.FINAL= 512)

a).- PERIODO DEL 13 AL 24 DE ABRIL

BANDA	C/H	D. ESPECTRAL ENTRADA	D. ESPECTRAL SALIDA	COHE	FASE	ADMIT
0	0.0000	0.5943E-01	0.1733E 00	0.608	14.66	1.038
1	0.0417	0.5344E 01	0.5352E 01	0.997	-6.30	0.998
2	0.0833	0.1751E 02	0.1811E 02	0.999	-17.04	1.016
3	0.1250	0.3181E-01	0.2025E-01	0.503	-63.47	0.402

LA PAZ
ENERGIA TOTAL : 0.9557E 00

BANDA :
1 23.32 %
2 76.38 %

GUAYCURA
ENERGIA TOTAL : 0.9843E 00

BANDA :
1 22.68 %
2 76.74 %

BANDA:	ERROR DE FASE	ERROR DE GANANCIA
1	2.39	0.042
2	1.35	0.024

b).- PERIODO DEL 25 DE ABRIL AL 6 DE MAYO

BANDA	C/H	D. ESPECTRAL ENTRADA	D. ESPECTRAL SALIDA	COHE	FASE	ADMIT.
0	0.0000	0.2250E 00	0.3660E 00	0.773	-10.31	0.986
1	0.0417	0.9390E 01	0.9543E 01	0.996	-8.60	1.004
2	0.0833	0.1640E 02	0.1892E 02	0.998	-17.53	1.072
3	0.1250	0.3795E-01	0.2767E-01	0.678	8.83	0.579

LA PAZ
ENERGIA TOTAL : 0.1082E 01

BANDA :
1 36.18 %
2 63.21 %

GUAYCURA
ENERGIA TOTAL : 0.1197E 01

BANDA :
1 33.23 %
2 65.89 %

BANDA:	ERROR DE FASE	ERROR DE GANANCIA
1	2.75	0.048
2	1.97	0.037

parciales.

El transecto Guaycura-La Paz se caracteriza por su irregularidad batimétrica. Hacia la Bahía de La Paz el transecto es profundo (en promedio 12 m), mientras que hacia la boca de la Ensenada existen zonas casi descubiertas en marea baja. Posiblemente las diferencias en el factor de ganancia sean producto de variaciones en el nivel del sensor, o bien que el sistema responda distinto a diferentes características de la señal, debido a interacciones no lineales. En cualquier caso la serie para Guaycura no parece adecuada para el estudio de las relaciones lineales.

4.3).- Marea / Corriente

Se consideró como señal de entrada el nivel del mar de la estación mareográfica más cercana a la estación de corrientes por analizar, o la más confiable. En cualquier caso, con base en las funciones de respuesta para las mareas, se corrigieron en tiempo los registros de marea para ubicarlos, numéricamente, en el punto de medición de las corrientes.

Estación 'E'. - Corriente superficial para cuyo análisis la señal de entrada fué el nivel del mar de la estación mareográfica de Comitán.

El análisis realizado (Tabla VI) muestra que la función de respuesta de la banda semidiurna se presenta como la mejor establecida (coherencia 0.974). El tiempo de respuesta (3.6 hrs.), con incertidumbre de 0.12 hrs., resulta cercano al desfase teórico de cooscilación (3 hrs.), [condiciones de cooscilación (Apéndice I) se esperan en la laguna].

En la banda diurna el tiempo de respuesta equivale a 7.0 hrs. y la incertidumbre a 0.73 hrs. El desfase teórico corresponde a 6 hrs. La baja coherencia (0.32) indica que la función de respuesta no resulta confiable para fines de predicción, pero es evidente cierta dependencia entre las señales.

En la banda terci-diurna, la cual representa el 1.55 % de la energía, la coherencia se presenta de 0.89. La fase equivale a un retardo de 2.85 hrs. y la incertidumbre a 0.18 hrs. El desfase de cooscilación corresponde a 2.0 hrs.

Las funciones de respuesta de las bandas diurna,

TABLA VI .- ANALISIS DE ADMITANCIA ENTRE EL NIVEL DEL MAR DE LA ESTACION 'COMITAN' Y LA CORRIENTE DE LA ESTACION 'E' PARA EL PERIODO DEL 2 AL 23 DE NOVIEMBRE DE 1980

MAREA - CORRIENTES

INTERVALO : 0.50 HRS NO. PTS : 1024 (NO. FINAL= 1024)

BANDA	C/H	D. ESPECTRAL ENTRADA	D. ESPECTRAL SALIDA	COHE	FASE	ADMIT
0	0.0000	0.2506E 00	0.2358E 02	0.554	83.08	5.371

1	0.0417	0.9031E 01	0.2377E 02	0.822	105.20	1.333
2	0.0833	0.1654E 02	0.2441E 03	0.974	108.51	3.741
3	0.1250	0.1387E 00	0.4918E 01	0.889	128.40	5.292

4	0.1667	0.3502E-01	0.4846E 01	0.514	93.86	6.043
5	0.2083	0.8431E-02	0.4477E 01	0.804	166.11	18.529
6	0.2500	0.6250E-02	0.4813E 01	0.652	-171.64	18.087
7	0.2917	0.2692E-02	0.2028E 01	0.606	-163.65	16.629
8	0.3333	0.8154E-03	0.1195E 01	0.236	-105.11	9.041
9	0.3750	0.7619E-03	0.8493E 00	0.392	-176.73	13.090
10	0.4167	0.3930E-03	0.9771E 00	0.308	-59.73	15.339
11	0.4583	0.3634E-03	0.1040E 01	0.499	-107.24	26.723
12	0.5000	0.2514E-03	0.9702E 00	0.090	-65.43	5.588
13	0.5417	0.1975E-03	0.7904E 00	0.276	138.47	17.461
14	0.5833	0.1389E-03	0.1227E 01	0.189	-139.15	17.807
15	0.6250	0.1387E-03	0.9236E 00	0.188	-175.32	15.330
16	0.6667	0.1013E-03	0.5939E 00	0.248	53.12	18.974
17	0.7083	0.1594E-03	0.8871E 00	0.196	-47.55	14.626
18	0.7500	0.1711E-03	0.1095E 01	0.148	44.36	11.809
19	0.7917	0.1188E-03	0.8506E 00	0.130	-87.13	10.996
20	0.8333	0.1770E-03	0.7246E 00	0.122	-141.88	7.805
21	0.8750	0.2467E-03	0.1133E 01	0.156	41.50	10.608
22	0.9167	0.4644E-02	0.7909E 00	0.140	-134.61	1.826
23	0.9583	0.1605E-03	0.1313E 01	0.139	65.36	12.535
24	1.0000	0.1007E-04	0.1833E 01	0.097	129.66	41.268

COMITAN
ENERGIA TOTAL : 0.1080E 01
BANDA :
1 34.87 %
2 63.87 %
1+2 98.74 %

ESTACION 'E'
ENERGIA TOTAL : 0.1322E 02
BANDA :
1 7.50 %
2 77.00 %
1+2 84.49 %

ERRORES PARA LA ESTIMACION

BANDA:	ERROR DE FASE	ERROR DE GANANCIA
1	10.94	0.253
2	3.66	0.239
3	8.11	0.747

semidiurna y terciurna presentan diferentes errores de estimación, sin embargo, la relación que se sugiere entre el nivel del mar y la corriente es similar, puesto que las fases observadas se presentan en promedio 20 % mayores que las esperadas.

Por la magnitud de los errores probables de sus funciones de respuesta y por la energía espectral que representan, las bandas restantes no resultan importantes a excepción de la banda cero, donde la energía en las corrientes es alta no así la de la marea. La función de respuesta asociada indica que este proceso no explica esa banda de energía de las corrientes.

Estación 'A1'.— Se consideró como señal de entrada la serie de predicción del nivel del mar para el muelle fiscal de La Paz. Los resultados (Tabla VII) señalan que en las bandas diurna y semidiurna las funciones de respuesta se presentan confiablemente establecidas.

En la banda semidiurna, la más energética de la corriente, la coherencia resulta alta (0.996) y los errores pequeños, 1.35 grados en la fase y 1.02 en la ganancia. La fase indica un retardo de la corriente (3.77 hrs.). La diferencia con el desfase de cooscilación resulta 0.77 hrs., resultado significativo puesto que el

error de estimación es mucho menor.

En la banda diurna, el retardo se presenta de 6.9 hrs. y la desviación, con respecto a las condiciones de cooscilación, de 0.9 hrs. La incertidumbre resulta 0.2 hrs.

4.4).- Corriente / Corriente

La señal de entrada fué la corriente superficial y la de salida la de fondo. En este caso sólo se analizó la estación 'B' por contener las dos series.

En la banda semidiurna la función de respuesta resulta confiable (coherencia 0.966). Esta banda representa en promedio el 30 % de la energía de cada señal (Tabla VIII).

El tiempo de respuesta (-13.2 min), con incertidumbre de 3.4 min, señala que la corriente de fondo es la primera en ocurrir y el factor de ganancia (0.63) refleja que la corriente de superficie resulta más fuerte (31.9 %) que la de fondo.

TABLA VIII.- ANALISIS DE ADMITANCIA PARA LA COMPONENTE 'U'
DE VELOCIDAD DE SUPERFICIE Y FONDO DE LA
ESTACION 'B' PARA EL PERIODO DEL 2 AL 22
DE SEPTIEMBRE DE 1982

CORRIENTES : SUPERFICIE - FONDO

INTERVALO : 0.50 HRS NO. PTS : 1024 (NO.FINAL= 1024)

BANDA	C/H	D. ESPECTRAL ENTRADA	D. ESPECTRAL SALIDA	COHE	FASE	ADMIT
0	0.0000	0.8353E 03	0.5025E 03	0.550	-56.35	0.427

1	0.0417	0.1728E 04	0.6153E 03	0.725	-20.15	0.433
2	0.0833	0.1215E 05	0.6042E 04	0.966	-9.10	0.681
3	0.1250	0.1748E 03	0.1380E 03	0.331	-37.01	0.294

4	0.1667	0.2576E 03	0.1532E 03	0.776	-21.66	0.599
5	0.2083	0.5020E 02	0.2403E 02	0.463	0.84	0.321
6	0.2500	0.1030E 03	0.3226E 02	0.505	-26.41	0.282
7	0.2917	0.3746E 02	0.1665E 02	0.159	-44.70	0.106
8	0.3333	0.2919E 02	0.2508E 02	0.530	-38.08	0.491
9	0.3750	0.2456E 02	0.1195E 02	0.158	-40.61	0.110
10	0.4167	0.2340E 02	0.1825E 02	0.617	-37.67	0.545
11	0.4583	0.2384E 02	0.1106E 02	0.281	-28.58	0.191
12	0.5000	0.1373E 02	0.9393E 01	0.147	25.49	0.122
13	0.5417	0.1772E 02	0.8383E 01	0.155	-113.02	0.107
14	0.5833	0.1960E 02	0.7017E 01	0.339	-104.85	0.203
15	0.6250	0.1058E 02	0.9092E 01	0.013	-144.82	0.012
16	0.6667	0.7437E 01	0.8630E 01	0.158	-6.89	0.170
17	0.7083	0.1171E 02	0.6513E 01	0.238	-69.34	0.177
18	0.7500	0.7778E 01	0.7791E 01	0.225	112.48	0.225
19	0.7917	0.1230E 02	0.7648E 01	0.180	175.31	0.142
20	0.8333	0.9487E 01	0.9660E 01	0.030	-97.47	0.031
21	0.8750	0.1447E 02	0.9735E 01	0.363	-85.75	0.298
22	0.9167	0.1289E 02	0.7999E 01	0.015	100.76	0.012
23	0.9583	0.8085E 01	0.9160E 01	0.201	-103.73	0.214
24	1.0000	0.1339E 02	0.7360E 01	0.107	111.23	0.080

DE SUPERFICIE

DE FONDO

ENERGIA TOTAL : 0.6328E 03

ENERGIA TOTAL : 0.3104E 03

BANDA :

BANDA :

1 11.39 %
2 30.08 %
1+2 91.47 %

1 8.27 %
2 31.17 %
1+2 39.44 %

ERRORES PARA LA ESTIMACION

BANDA:

ERROR DE
FASE

ERROR DE
GANANCIA

1
2

15.05
4.22

0.112
0.050

En la banda diurna la función de respuesta resulta poco confiable (coherencia 0.72). La fase indica que la corriente de fondo se retarda 1.3 hrs., pero la incertidumbre resulta de 1.0 hr. El factor de ganancia señala una reducción (56.7 %) de la corriente hacia el fondo.

4.5).- Viento / Corriente

Para este sistema la señal del viento se consideró como la perturbación y las corrientes superficiales la respuesta. Al contar sólo con una estación de medición del viento, para cada año, se tiene que asumir que la serie representa las condiciones de toda el área de estudio.

Viento / Estación 'E'. - El análisis realizado (Tabla IX) señala que no se presentan funciones de respuesta confiablemente establecidas. No obstante, en la banda diurna, la más energética del viento y la segunda de importancia en la corriente, la coherencia (0.81) refleja cierta relación entre los procesos, aunque el valor bajo ocasiona que las incertidumbres de la estimación sean altas. e.g., la fase reportada de 5.84 grados (23.4 min) indica que la corriente no responde instantáneamente al esfuerzo del viento, sin embargo, la incertidumbre (45.3

TABLA IX .- ANALISIS DE ADMITANCIA PARA LA COMPONENTE 'U'
DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO Y DE LA CORRIENTE
DE LAS ESTACIONES 'CONCHALITOS' Y 'E' PARA EL
PERIODO DEL 2 AL 23 DE NOVIEMBRE DE 1980

VIENTO - CORRIENTES

INTERVALO : 0.50 HRS NO. PTS : 1024 (NO.FINAL= 1024)

BANDA	C/H	D. ESPECTRAL ENTRADA	D. ESPECTRAL SALIDA	COHE	FASE	ADMIT
0	0.0000	0.1836E 03	0.2358E 02	0.684	178.47	0.245

1	0.0417	0.7352E 03	0.2377E 02	0.809	5.84	0.145
2	0.0833	0.1993E 03	0.2441E 03	0.638	-5.71	0.706
3	0.1250	0.8213E 02	0.4918E 01	0.425	-105.39	0.104

4	0.1667	0.3594E 02	0.4846E 01	0.219	-133.05	0.080
5	0.2083	0.2142E 02	0.4477E 01	0.299	-63.97	0.137
6	0.2500	0.1606E 02	0.4813E 01	0.107	-95.41	0.058
7	0.2917	0.1159E 02	0.2028E 01	0.215	-52.71	0.090
8	0.3333	0.1016E 02	0.1195E 01	0.139	59.20	0.048
9	0.3750	0.4526E 01	0.8493E 00	0.125	6.92	0.054
10	0.4167	0.4231E 01	0.9771E 00	0.155	-64.64	0.075
11	0.4583	0.3352E 01	0.1040E 01	0.152	-150.87	0.084
12	0.5000	0.2958E 01	0.9702E 00	0.181	-32.75	0.104
13	0.5417	0.2087E 01	0.7904E 00	0.200	9.10	0.123
14	0.5833	0.1475E 01	0.1227E 01	0.158	-56.06	0.144
15	0.6250	0.8797E 00	0.9236E 00	0.295	65.66	0.302
16	0.6667	0.1102E 01	0.5939E 00	0.177	-125.96	0.130
17	0.7083	0.6524E 00	0.8871E 00	0.215	-64.76	0.251
18	0.7500	0.4483E 00	0.1095E 01	0.103	170.23	0.162
19	0.7917	0.2702E 00	0.8506E 00	0.220	101.03	0.391
20	0.8333	0.1951E 00	0.7246E 00	0.149	65.11	0.287
21	0.8750	0.1433E 00	0.1133E 01	0.156	-58.51	0.438
22	0.9167	0.6248E-01	0.7909E 00	0.067	-17.87	0.237
23	0.9583	0.1438E-01	0.1313E 01	0.092	170.35	0.883
24	1.0000	0.8710E-04	0.1833E 01	0.279	68.54	40.470

VIENTO

ENERGIA TOTAL : 0.5113E 02

BANDA :

1	59.97 %
2	16.26 %
1+2	76.22 %

CORRIENTE

ENERGIA TOTAL : 0.1322E 02

BANDA :

1	7.50 %
2	77.00 %
1+2	84.49 %

ERRORES PARA LA ESTIMACION

BANDA:

1

ERROR DE

FASE

11.45

ERROR DE

GANANCIA

0.029

min) no permite establecer un tiempo de respuesta confiable.

Por la incertidumbre en la función de respuesta los resultados no pueden ser empleados para fines de predicción, sin embargo, sugieren cierta participación del viento como mecanismo generador de movimiento en la laguna.

Viento / Estación 'A1'.- En esta estación, representativa de la región del canal, la coherencia más alta (0.43) corresponde a la banda tercediurna, pero las señales tienen poca energía en ella (Tabla X). En las bandas diurna y semidiurna, debido a las bajas coherencias, 0.33 y 0.42 respectivamente, sus funciones de respuesta no resultan confiables.

TABLA X .- ANALISIS DE ADMITANCIA PARA LA COMPONENTE 'U'
DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO Y DE LA CORRIENTE
DE LAS ESTACIONES 'CONCHALITOS' Y 'A1' PARA
EL PERIODO DEL 10 DE ABRIL AL 1 DE MAYO 1981

VIENTOS - CORRIENTES

INTERVALO : 0.50 HRS NO. PTS : 1024 (NO. FINAL= 1024)

BANDA	C/H	D. ESPECTRAL ENTRADA	D. ESPECTRAL SALIDA	COHE	FASE	ADMIT
0	0.0000	0.1561E 04	0.1712E 03	0.305	-159.93	0.101

1	0.0417	0.5602E 03	0.2983E 04	0.382	-135.08	0.883
2	0.0833	0.1411E 03	0.2063E 05	0.416	-12.49	5.034
3	0.1250	0.6617E 02	0.2194E 03	0.433	19.52	0.788

4	0.1667	0.3331E 02	0.9585E 02	0.314	-30.28	0.533
5	0.2083	0.1799E 02	0.6465E 02	0.234	-134.97	0.444
6	0.2500	0.1969E 02	0.1024E 03	0.318	96.90	0.726
7	0.2917	0.1101E 02	0.2411E 02	0.165	-118.56	0.244
8	0.3333	0.1654E 02	0.2002E 02	0.093	155.10	0.103
9	0.3750	0.6558E 01	0.1270E 02	0.065	74.65	0.091
10	0.4167	0.5956E 01	0.1955E 02	0.047	0.56	0.086
11	0.4583	0.4319E 01	0.1594E 02	0.215	-94.70	0.413
12	0.5000	0.2194E 01	0.1799E 02	0.109	-127.25	0.313
13	0.5417	0.2641E 01	0.1573E 02	0.063	-86.46	0.155
14	0.5833	0.2013E 01	0.1644E 02	0.152	-158.70	0.433
15	0.6250	0.1209E 01	0.1283E 02	0.064	-146.44	0.210
16	0.6667	0.1933E 01	0.8353E 01	0.038	34.04	0.079
17	0.7083	0.5967E 00	0.5414E 01	0.111	133.56	0.333
18	0.7500	0.5547E 00	0.7495E 01	0.185	-148.93	0.682
19	0.7917	0.2405E 00	0.5153E 01	0.261	-112.67	1.209
20	0.8333	0.1734E 00	0.6185E 01	0.029	97.35	0.173
21	0.8750	0.1054E 00	0.7264E 01	0.091	-90.74	0.759
22	0.9167	0.4585E-01	0.7519E 01	0.169	-161.50	2.168
23	0.9583	0.1252E-01	0.9795E 01	0.168	-7.70	4.702
24	1.0000	0.2321E-03	0.9796E 01	0.408	-145.75	83.922

VIENTOS

ENERGIA TOTAL : 0.6984E 02

BANDA :

1	33.45 %
2	8.43 %
1+2	41.87 %

CORRIENTES

ENERGIA TOTAL : 0.1017E 04

BANDA :

1	12.23 %
2	84.56 %
1+2	96.78 %

5 .-ANALISIS DE SISTEMAS : ENTRADA MULTIPLE/UNA SALIDA

5.1).- Funciones de coherencia parcial y múltiple

Dentro del grupo de sistemas físicos de entrada y salida múltiple, los de respuesta única representan un caso de interés en el análisis de datos oceanográficos. El estudio de estos sistemas se encamina a establecer la dependencia de la señal de respuesta respecto a cada uno de los agentes causales que perturban al sistema (Bendat y Piersol, 1980).

Cuando los procesos perturbadores no están correlacionados, el análisis de las relaciones se puede efectuar mediante la función de admitancia ordinaria. Para procesos correlacionados el análisis anterior conduce generalmente a interpretaciones falsas de las funciones de respuesta, en particular de la función de coherencia (Bendat, 1976a). En estos casos la función de admitancia múltiple representa una opción para el estudio de los sistemas.

En el análisis múltiple la relación espectral entre

cada agente causal y la respuesta, se estima por medio de funciones parciales, análogas a las funciones ordinarias. Las funciones parciales se evalúan empleando espectros condicionados, e.g.,

$$\gamma^2_{2y.1} = |G_{2y.1}|^2 / G_{2.1} G_{y.1} \quad (9)$$

es la coherencia parcial entre la señal de respuesta (y) y la perturbación 2. En esta definición, el subíndice 1 señala que las funciones espectrales están condicionadas, en el sentido que se indica más adelante, respecto a la información contenida en la perturbación 1.

El condicionamiento se basa en la regulación de la información de energía de los mecanismos perturbadores y de la respuesta, según el principio siguiente: Considerando la i -ésima perturbación, la serie modificada $X_{i.1,2,3,\dots,i-1}$ representa la serie condicionada de X_i , de la cual se ha removido la información ya contenida en las series anteriores y por lo tanto redundante para el sistema. La señal de respuesta se condiciona de forma similar, por ejemplo, la serie $y_{.1,2,3,\dots,i-1}$ representa la respuesta $y(t)$ de la cual se ha eliminado la información ya explicada por los procesos X_1, X_2, \dots, X_{i-1} .

El condicionamiento numérico resulta complicado para sistemas de entrada múltiple, y caro en tiempo de computación puesto que involucra un gran número de

inversiones de matrices complejas (Bendat, 1976a; Barret, 1979).

Bendat (1976b) desarrolló un algoritmo iterativo para la evaluación de las funciones condicionadas de densidad espectral. El método consiste en reenumerar el grupo original de perturbaciones, en orden de importancia, dada la coherencia ordinaria entre cada una de ellas y la respuesta, esto para toda banda de frecuencia de interés.

La dependencia espectral entre cada perturbación y la respuesta se evalúa de la forma siguiente: Para la perturbación 1 el cálculo se efectúa empleando funciones de densidad no condicionadas. Para la perturbación 2, su función espectral se condiciona, en función de la información ya contenida en la perturbación 1, denotándose como $G_{2.1}(f)$ y la función de la respuesta se condiciona proporcionalmente a la información ya explicada por la perturbación 1, denotándose como $G_{y.1}$. Entonces la dependencia espectral, entre esta perturbación y la respuesta, se investiga con base a los espectros condicionados, y así sucesivamente, e.g., los espectros de la perturbación 3 y de la respuesta se condicionan a $G_1(f)$ y a $G_{2.1}(f)$ denotándose $G_{3.1,2}(f)$ y $G_{y.1,2}(f)$.

El factor de condicionamiento óptimo, en el sentido

de mínimos cuadrados, resulta la razón entre el espectro cruzado de las series a considerar y el espectro de la serie que condiciona, e.g.,

$$L_{12}=G_{12}/G_1 ; L_{13}=G_{13}/G_1 ; L_{23}=G_{23.1}/G_{2.1} \quad (10)$$

son los factores de condicionamiento para el espectro de la segunda y tercer perturbación, respecto a la primera (L_{12} y L_{13}) y a la segunda ya condicionada (L_{23}). Con base en ellos se pueden estimar los espectros condicionados requeridos, e.g.,

$$G_{2.1} = G_2 - |L_{12}|^2 G_1 = G_2 (1-\gamma^2_{12}) \quad (11)$$

$$G_{3.1} = G_3 - |L_{13}|^2 G_1 = G_3 (1-\gamma^2_{13}) \quad (12)$$

$$G_{3.1,2} = G_{3.1} - |L_{23}|^2 G_{2.1} = G_3 (1-\gamma^2_{13})(1-\gamma^2_{23.1}) \quad (13)$$

los cuales corresponden a la segunda ($G_{2.1}$) y tercera ($G_{3.1,2}$) perturbación. En términos de la densidad espectral el producto $G_2 \gamma^2_{12}$ (espectro coherente ordinario), representa la parte del espectro G_2 que se explica por el espectro G_1 y por tanto $G_2 - (G_2 \gamma^2_{12})$ equivale la parte de G_2 que no está contenida en G_1 .

Por otra parte, la función de coherencia múltiple resulta de utilidad en el estudio de los sistemas ya que representa la estimación de la dependencia total de la señal de respuesta al conjunto de mecanismos de perturbación considerados. La coherencia múltiple se define como,

$$\gamma^2_{x:y}(f) = 1 - [(1-\gamma^2_{1y})(1-\gamma^2_{2y.1}) \dots (1-\gamma^2_{py.1,2,3 \dots p-1})] \quad (14)$$

El espectro coherente múltiple, $G_{y \gamma^2 x:y}(f)$, equivale a la totalidad de la función espectral de la respuesta $[G_y(f)]$ que se explica por el conjunto de perturbaciones y el espectro coherente parcial $[G_{y.1 \gamma^2 y.1}]$ equivale a la parte de la respuesta explicada por cada perturbación, en este caso por la perturbación 2.

Empleando estas funciones el espectro $G_y(f)$ puede ser expresado,

$$G_y = G_{y \gamma^2 12} + G_{y.1 \gamma^2 2y.1} + G_{y.1,2 \gamma^2 3y.1.2} + \dots + G_{y.1,2,3} \quad (15)$$

donde $G_{y.1,2,3}$ representa la energía de la respuesta no explicada por las perturbaciones consideradas.

5.2).- Viento / Marea

El análisis ordinario mostró que las relaciones entre las corrientes respecto al nivel del mar resultan mejor establecidas que aquellas respecto al viento, por ello es de suponer que las corrientes sean principalmente inducidas por los cambios del nivel del mar. No obstante, en la región interior de la Ensenada se presentan evidencias de cierta participación del viento como mecanismo generador de movimiento. Este resultado plantea la posibilidad de tener dos factores causales de la

corriente observada.

Para fines de aplicar el análisis de admitancia múltiple, se estimó la dependencia estadística entre la señal del viento y el nivel del mar.

Vientos / Comitán. - Los resultados (Tabla XI) señalan que la relación estadística relativamente más alta ocurre en las bandas diurna y semidiurna, donde las coherencias se presentan de 0.78 y 0.64 respectivamente. En consecuencia, las funciones de respuesta no resultan bien establecidas; sin embargo, la relación numérica en la banda diurna, la más energética en la señal del viento, tiene cierto respaldo físico ya que el viento puede tener, con periodicidad diurna, cierto efecto en el apilamiento de agua, lo cual se reflejaría en el nivel del mar.

5.3).- Marea - Viento / Corriente

Para el análisis del sistema múltiple, los cambios del nivel del mar y el viento se consideraron los procesos perturbadores y las corrientes observadas la respuesta.

TABLA XI.- ANALISIS DE ADMITANCIA ENTRE EL NIVEL DEL MAR
Y EL VIENTO DE LAS ESTACIONES DE 'COMITAN' Y
'CONCHALITOS' PARA EL PERIODO DEL 2 AL 23 DE
NOVIEMBRE DE 1980

MAREA - VIENTOS

INTERVALO : 0.50 HRS NO. PTS : 1024 (NO.FINAL= 1024)

BANDA	C/H	D. ESPECTRAL ENTRADA	D. ESPECTRAL SALIDA	COHE	FASE	ADMIT
0	0.0000	0.2506E 00	0.1836E 03	0.296	-76.79	8.013

1	0.0417	0.9031E 01	0.7352E 03	0.779	87.11	7.031
2	0.0833	0.1654E 02	0.1993E 03	0.640	112.99	2.220
3	0.1250	0.1387E 00	0.8213E 02	0.463	-130.60	11.271

4	0.1667	0.3502E-01	0.3594E 02	0.357	-143.75	11.426
5	0.2083	0.8431E-02	0.2142E 02	0.395	-130.20	19.893
6	0.2500	0.6250E-02	0.1606E 02	0.129	-115.35	6.538
7	0.2917	0.2692E-02	0.1159E 02	0.331	-106.68	21.743
8	0.3333	0.8154E-03	0.1016E 02	0.355	-160.58	39.631
9	0.3750	0.7619E-03	0.4526E 01	0.466	-107.25	35.886
10	0.4167	0.3930E-03	0.4231E 01	0.207	-44.24	21.488
11	0.4583	0.3634E-03	0.3352E 01	0.152	-17.52	14.650
12	0.5000	0.2514E-03	0.2958E 01	0.098	175.75	10.633
13	0.5417	0.1975E-03	0.2087E 01	0.194	52.06	19.967
14	0.5833	0.1389E-03	0.1475E 01	0.149	51.84	15.396
15	0.6250	0.1387E-03	0.8797E 00	0.425	102.56	33.860
16	0.6667	0.1013E-03	0.1102E 01	0.368	156.45	38.347
17	0.7083	0.1594E-03	0.6524E 00	0.344	105.22	22.024
18	0.7500	0.1711E-03	0.4483E 00	0.086	132.58	4.390
19	0.7917	0.1188E-03	0.2702E 00	0.355	135.49	16.933
20	0.8333	0.1770E-03	0.1951E 00	0.316	148.22	10.479
21	0.8750	0.2467E-03	0.1433E 00	0.467	133.42	11.252
22	0.9167	0.4644E-02	0.6248E-01	0.639	-111.26	2.344
23	0.9583	0.1605E-03	0.1438E-01	0.744	-86.52	7.049
24	1.0000	0.1007E-04	0.3710E-04	0.355	-59.36	1.043

COMITAN
ENERGIA TOTAL : 0.1080E 01

VIENTOS
ENERGIA TOTAL : 0.5113E 02

BANDA :
1 34.87 %
2 63.87 %
1+2 98.74 %

BANDA :
1 59.97 %
2 16.26 %
1+2 76.22 %

ERRORES PARA LA ESTIMACION

BANDA :
1 ERROR DE
FASE
12.71

ERROR DE
GANANCIA
1.547

Viento - Comitán / Estación 'E'.- Los resultados mostrados en la Tabla XII corresponden al período completo de medición (Noviembre 1980).

Como ya se dijo, las coherencias encontradas por el análisis ordinario indicaron que las relaciones significativas entre las señales se presentan preferentemente en las bandas diurna y semidiurna.

En la banda diurna, el espectro coherente ordinario señaló que la marea tiene efecto sobre el 67.5 % de la densidad espectral de la corriente y que el viento justifica un 65.5 % adicional. Al considerar al sistema lineal, los resultados anteriores sobrestiman la densidad de la corriente. Por esta razón la importancia relativa de cada proceso perturbador no puede ser cuantificada.

La coherencia parcial, para la relación entre las señales condicionadas del viento y la corriente, resulta de 0.408. Así, la densidad espectral de la corriente explicada por viento resulta 13.27 %, 52.2 % menor que lo indicado por el análisis ordinario.

Con base en el análisis múltiple la importancia relativa de cada proceso puede estimarse en función de la energía espectral que logra explicar. Entonces, La

TABLA XII .- FUNCIONES DE COHERENCIA ORDINARIA, PARCIAL Y MULTIPLE PARA EL ANALISIS DE LAS RELACIONES ENTRE MAREA, VIENTO Y CORRIENTE DE LAS ESTACIONES 'COMITAN', 'CONCHALITOS' Y 'E' PARA EL PERIODO DEL 2 AL 23 DE NOVIEMBRE DE 1980

MA = MAREAS

CO = CORRIENTES

VI = VIENTOS

BANDA	COHERENCIA ORDINARIA			COHERENCIA PARCIAL	COHERENCIA MULTIPLE
C/H	MA-CO	VI-CO	VI-MA	VI-CO	
0.0000	0.554	0.684	0.296	0.445	0.615

0.0417	0.822	0.809	0.779	0.408	0.808
0.0833	0.974	0.638	0.640	0.013	0.949

0.1250	0.389	0.425	0.463	0.007	0.791
0.1667	0.514	0.219	0.357	0.004	0.267
0.2083	0.804	0.299	0.395	0.001	0.647
0.2500	0.652	0.107	0.129	0.008	0.429
0.2917	0.606	0.215	0.331	0.001	0.367
0.3333	0.236	0.139	0.355	0.004	0.059
0.3750	0.392	0.125	0.466	0.058	0.203
0.4167	0.308	0.155	0.207	0.018	0.110
0.4583	0.499	0.152	0.152	0.024	0.267
0.5000	0.090	0.181	0.098	0.036	0.044
0.5417	0.276	0.200	0.194	0.043	0.116
0.5833	0.189	0.158	0.149	0.034	0.069
0.6250	0.188	0.295	0.425	0.061	0.094
0.6667	0.248	0.177	0.368	0.012	0.073
0.7083	0.196	0.215	0.344	0.059	0.095
0.7500	0.148	0.103	0.086	0.012	0.033
0.7917	0.130	0.220	0.355	0.040	0.056
0.8333	0.122	0.149	0.316	0.014	0.028
0.8750	0.156	0.156	0.467	0.014	0.038
0.9167	0.140	0.067	0.639	0.001	0.021
0.9583	0.139	0.092	0.744	0.002	0.022
1.0000	0.097	0.279	0.355	0.102	0.111

BANDA	DENSIDAD TOTAL	- DENSIDAD EXPLICADA POR : -			RESIDUAL
C/H		MAREAS	VIENTO	VIENTO CONDICIONADO	
0.0417	23.77	16.04	15.56	3.15	4.57
0.0833	244.07	231.45	99.26	0.17	12.45

BANDA	ENERGIA TOTAL	- EXPLICADA POR -			RESIDUAL
C/H		MAREAS	VIENTO	VIENTO CONDICIONADO	
0.0000	3.71 %	1.14 %	1.74 %	1.14 %	1.43 %
0.0417	7.50 %	5.06 %	4.91 %	1.00 %	1.44 %
0.0833	77.00 %	73.01 %	31.31 %	0.05 %	3.93 %

energía de la corriente en la banda diurna (7.5 %) se explica por marea (5.0 %) y por viento (1.0 %). La energía residual representa el 1.5 %.

Aparte, en la banda semidiurna el espectro coherente ordinario indicó que la marea explica la mayor parte (73.0 %) de la energía de la corriente (77.0 %). En esta banda, la relación ordinaria con el viento resultó incierta (coherencia de 0.64). Sin embargo, al pretender cuantificar efectos, su participación puede sobrestimarse. La coherencia parcial, asociada al viento condicionado, resulta 0.013, para su relación con las corrientes residuales semidiurnas. Este resultado rechaza la influencia del viento en esta banda. Entonces, la energía residual resulta del 4.0 %.

En la banda terциdiurna el análisis ordinario señaló que la marea reproduce el 1.2 % de la energía de la corriente (1.5 %). La coherencia parcial asociada al viento (0.007) rechaza la influencia de este proceso. La energía residual representa el 0.3 %.

En la banda cero, la coherencia ordinaria del viento resultó mayor que la de la marea, por ello el viento debe ser la señal no condicionada. El análisis múltiple (Tabla XIII) indica que las perturbaciones tienen efecto sobre el

TABLA XIII .- FUNCIONES DE COHERENCIA ORDINARIA, PARCIAL Y MULTIPLE PARA EL ANALISIS DE LAS RELACIONES ENTRE VIENTO, MAREA Y CORRIENTE DE LAS ESTACIONES 'CONCHALITOS', 'COMITAN Y 'E' PARA EL PERIODO DEL 2 AL 23 DE NOVIEMBRE DE 1980

MA = MAREAS

CO = CORRIENTES

VI = VIENTOS

BANDA C/H	COHERENCIA ORDINARIA			COHERENCIA PARCIAL	COHERENCIA MULTIPLE
	VI-CO	MA-CO	VI-MA	MA-CO	
0.0000	0.684	0.554	0.296	0.278	0.615

0.0417	0.809	0.822	0.779	0.443	0.808
0.0833	0.638	0.974	0.640	0.914	0.949

0.1250	0.425	0.889	0.463	0.745	0.791
0.1667	0.219	0.514	0.357	0.230	0.267
0.2083	0.299	0.804	0.395	0.612	0.647
0.2500	0.107	0.652	0.129	0.423	0.429
0.2917	0.215	0.606	0.331	0.337	0.367
0.3333	0.139	0.236	0.355	0.041	0.059
0.3750	0.125	0.392	0.466	0.190	0.203
0.4167	0.155	0.308	0.207	0.089	0.110
0.4583	0.152	0.499	0.152	0.250	0.267
0.5000	0.181	0.090	0.098	0.012	0.044
0.5417	0.200	0.276	0.194	0.079	0.116
0.5833	0.158	0.189	0.149	0.045	0.069
0.6250	0.295	0.188	0.425	0.008	0.094
0.6667	0.177	0.248	0.368	0.043	0.073
0.7083	0.215	0.196	0.344	0.051	0.095
0.7500	0.103	0.148	0.086	0.023	0.033
0.7917	0.220	0.130	0.355	0.008	0.056
0.8333	0.149	0.122	0.316	0.006	0.028
0.8750	0.156	0.156	0.467	0.014	0.038
0.9167	0.067	0.140	0.639	0.016	0.021
0.9583	0.092	0.139	0.744	0.013	0.022
1.0000	0.279	0.097	0.355	0.036	0.111

BANDA C/H	DENSIDAD TOTAL	- DENSIDAD EXPLICADA POR : -			
		VIENTO	MAREA	MAREA CONDICIONADA	RESIDUAL
0.0417	23.77	15.56	16.04	3.64	4.57
0.0833	244.07	99.26	231.45	132.36	12.45

BANDA C/H	ENERGIA TOTAL	- EXPLICADA POR -			
		VIENTO	MAREA	MAREA CONDICIONADA	RESIDUAL
0.0000	3.71 %	1.74 %	1.14 %	0.54 %	1.43 %
0.0417	7.50 %	4.91 %	5.06 %	1.15 %	1.44 %
0.0833	77.00 %	31.31 %	73.01 %	41.76 %	3.93 %

2.28 % (coherencia múltiple 0.615) de la energía (3.71 %), de la cual el viento explica el 1.74 %.

Viento - La Paz / Estación 'A1'.- El análisis ordinario mostró que la relación entre la corriente y el nivel del mar resulta estadísticamente mejor establecida que la correspondiente con el viento. Así, en este caso el análisis ordinario es suficiente para la identificación de la marea como el agente principal, pero al cuantificar los efectos el correspondiente al viento puede sobrestimarse.

En la banda diurna la energía de la corriente representa el 12.23 %, el espectro coherente ordinario indica que la marea explica el 11.81 % (Tabla XIV). La energía de la corriente semidiurna representa el 84.56 %, la marea explica el 83.99 %.

Los espectros coherentes ordinarios señalan que en esas bandas el viento reproduce el 1.87 y 16.3 % adicional. Las coherencias parciales (0.053 y 0.085) indican que el viento no tiene participación en la corriente observada.

TABLA XIV .- FUNCIONES DE COHERENCIA ORDINARIA, PARCIAL Y MULTIPLE PARA EL ANALISIS DE LAS RELACIONES ENTRE MAREA, VIENTO Y CORRIENTE DE LAS ESTACIONES 'LA PAZ', 'CONCHALITOS' Y 'A1' PARA EL PERIODO DEL 10 DE ABRIL AL 1 MAYO DE 1981

MA = MAREAS

CO = CORRIENTES

VI = VIENTOS

BANDA C/H	COHERENCIA ORDINARIA			COHERENCIA PARCIAL	COHERENCIA MULTIPLE
	MA-CO	VI-CO	VI-MA	VI-CO	
0.0000	0.385	0.305	0.159	0.128	0.257

0.0417	0.983	0.382	0.391	0.058	0.968
0.0833	0.996	0.416	0.439	0.085	0.993

0.1250	0.612	0.433	0.307	0.109	0.442
0.1667	0.714	0.314	0.133	0.109	0.563
0.2083	0.296	0.234	0.178	0.077	0.159
0.2500	0.819	0.318	0.300	0.062	0.692
0.2917	0.410	0.165	0.276	0.007	0.174
0.3333	0.097	0.093	0.115	0.011	0.020
0.3750	0.168	0.065	0.224	0.011	0.039
0.4167	0.112	0.047	0.195	0.003	0.016
0.4583	0.087	0.215	0.126	0.051	0.058
0.5000	0.244	0.109	0.189	0.006	0.065
0.5417	0.059	0.063	0.582	0.014	0.017
0.5833	0.156	0.152	0.051	0.024	0.047
0.6250	0.013	0.064	0.151	0.004	0.004
0.6667	0.141	0.038	0.216	0.000	0.020
0.7083	0.287	0.111	0.108	0.015	0.096
0.7500	0.302	0.185	0.325	0.040	0.128
0.7917	0.209	0.261	0.281	0.093	0.132
0.8333	0.142	0.029	0.175	0.003	0.023
0.8750	0.237	0.091	0.285	0.023	0.078
0.9167	0.264	0.169	0.431	0.030	0.098
0.9583	0.184	0.168	0.382	0.050	0.082
1.0000	0.421	0.408	0.215	0.130	0.284

BANDA C/H	DENSIDAD TOTAL	- DENSIDAD EXPLICADA POR : -			RESIDUAL
		MAREAS	VIENTO	VIENTO CONDICIONADO	
0.0417	2982.72	2882.17	436.39	5.84	94.85
0.0833	20630.39	20478.01	3575.36	12.94	140.29

BANDA C/H	ENERGIA TOTAL	- EXPLICADA POR :-			RESIDUAL
		MAREAS	VIENTO	VIENTO CONDICIONADO	
0.0417	12.23 %	11.81 %	1.78 %	0.02 %	0.39 %
0.0833	84.56 %	83.93 %	14.63 %	0.05 %	0.57 %

6 .- DISCUSION

El análisis espectral y de admitancia ordinario mostró que los procesos físicos en la laguna resultan eminentemente diurnos y semidiurnos, conjuntándose en estas escalas de tiempo casi la totalidad de la energía de las señales.

La relación espectral entre el nivel del mar de los puntos extremos de la Ensenada resultó significativa en las componentes diurna y semidiurna. La función de respuesta indicó un retardo de 30 min en promedio. Este resultado excluye la posibilidad de que los cambios del nivel del mar observados en la Ensenada de La Paz sean producto de la marea local. El retardo puede ser interpretado como el tiempo que emplea la marea oceánica en propagarse por el sistema.

La velocidad de propagación fué estimada de 21 km/hr. en promedio. La velocidad de propagación teórica, sin considerar el efecto de fricción, resulta 24.4 km/hr., la cercanía a la velocidad observada sugiere que las componentes de marea se propagan como una onda progresiva afectada por fricción. De acuerdo a la ecuación (9) (Apéndice I), considerando 's' como la frecuencia de la banda semidiurna, el coeficiente de fricción lineal resulta $0.68 \cdot 10^{-4}/\text{seg}$, valor similar en orden de magnitud al reportado en otras

regiones costeras, e.g., Godin (1982) estima un coeficiente de $0.53 \cdot 10^{-4}$ /seg para el transecto entre Québec y Grondines, con base en el cual concluye que los procesos de fricción en ese transecto resultan débiles.

La amplificación de la señal, hacia el interior, se presenta como una característica de la respuesta del sistema lagunar. La amplificación resultó del 3.6 % en la banda diurna y del 5.7 % en la semidiurna. El estudio de los modos forzados (Apéndice II) indica que la Ensenada de La Paz no presenta las dimensiones para la ocurrencia de condiciones de resonancia para esas componentes de marea, por esta razón una situación de resonancia no es la explicación de la amplificación observada.

Prandle y Rahman (1980) obtienen la solución de las ecuaciones (1) y (2) (Apéndice I) para variaciones no lineales de anchura y profundidad. La solución indica que la amplificación es resultado del efecto diferencial de la fricción a lo largo del transecto, producto de las variaciones de profundidad. Mediante este proceso el frente de la onda se retarda, induciéndose un acortamiento de la longitud de la onda y una consecuente amplificación de su amplitud (Kinsman, 1965). En la Ensenada de La Paz esta posibilidad resulta válida tomando en cuenta que la amplificación se presentó pequeña y la fricción débil.

En la estación 'A1' de corrientes superficiales, representativa de la región del canal principal, las relaciones encontradas con el nivel del mar indicaron una dependencia espectral significativa en las bandas diurna y semidiurna. De la energía de la corriente en estas bandas (96.78 %), los espectros coherentes indicaron que la marea explica el 95.7 %, resultado que identifica a la marea como el proceso inductor de la corriente observada. La función de respuesta señaló un retardo de 3.8 hrs en la banda semidiurna y 6.9 hrs en la diurna.

En la estación 'E' de corrientes superficiales, representativa de la región interior, las componentes de periodo diurno, semidiurno y tercediurno representan el 86.0 % de la energía. Las componentes de marea explican el 79.1 %. 5.0 % en la banda diurna, 72.9 % en la semidiurna y 1.2 % en la tercediurna. Resultado que permite identificar a la marea como el agente causal principal de la corriente. Las funciones de respuesta señalaron un retardo de 3.6 hrs en la banda semidiurna, de 7.0 en la diurna y de 2.35 en la tercediurna.

Los tiempos de respuesta encontrados en las dos regiones sugieren que la marea presenta características de una onda de cooscilación. Bajo condiciones de cooscilación el retardo de la corriente corresponde a 6.0 hrs en la banda diurna, 3.0 en

la semidiurna y 2.0 en la tercediurna. Resultados válidos en un canal de anchura y profundidad constante (Apéndice I).

Los resultados de Prandle y Rahman (1980) indican que, en presencia de una elevación gradual del fondo hacia la frontera interior, el retardo no se modifica significativamente, si la fricción es débil, en caso contrario el retardo sería menor.

En las estaciones 'E' y 'A1' los tiempos de respuesta resultan en todos los casos mayores que el retardo de cooscilación. Los resultados de Prandle y Rahman sugieren que las variaciones de profundidad en la Ensenada no son la explicación para el incremento reportado.

Por otra parte, en la estación 'B' de corrientes, distante 1.5 km de la estación 'A1' y 4.2 km de la estación 'E', las funciones de respuesta indicaron que la corriente de fondo ocurre primero que la corriente superficial: 0.3 hrs en la banda semidiurna y 1.3 hrs en la diurna, con incertidumbre de 0.14 y 1.0 hrs respectivamente. Los resultados de la estación 'B' representan la posibilidad de que el desfase calculado entre la marea y la corriente esté sobrestimado por el hecho de haber empleado a las corrientes superficiales, por ser los registros más confiables con que se contó y no a las de fondo, para la evaluación de las

relaciones con el nivel del mar.

Entonces, en términos generales el comportamiento de la onda de marea en la Ensenada y su relación con las corrientes observadas concuerda cercanamente con la teoría lineal. Esta concordancia, aunada a la información de los espectros coherentes, permite señalar que la mayor parte de la energía de las corrientes es causada por marea. Sin embargo, mientras que en la región del canal principal la energía residual resulta 4.3 %, en la región interior equivale al 20.9 %.

Estos resultados señalan que la distribución de energía se presenta distinta en cada región. En la región interior el alto porcentaje de energía residual sugiere la posibilidad de que otros agentes esten vinculados al movimiento observado. En la Ensenada de La Paz, el forzamiento por viento y los gradientes de densidad constituyen dos procesos con posible influencia.

La relación entre la señal del viento y la corriente de la región interior, resultó mejor establecida en la banda diurna en la cual la energía de la corriente es 7.5 %. El espectro coherente indicó que el viento explica 4.9 %. Este resultado permitiría identificar a las corrientes de período diurno como corrientes inducidas por el viento. Sin embargo,

debe tomarse en cuenta que en esta misma banda las corrientes de marea representaron 5.0 %.

De acuerdo a los resultados anteriores es claro que la influencia de la marea y del viento no puede ser cuantificada correctamente, puesto que de considerarse ambos efectos se generaría una sobrestimación de la energía diurna de la corriente.

Esta situación se presenta comunmente en los sistemas lagunares. La imposibilidad de separar los efectos ha conducido a que se suponga a la marea como el único agente causal de la energía de la corriente en las bandas diurna y semidiurna, y que el efecto del viento se evalúe solamente en las altas o bajas frecuencias, al correlacionar series filtradas. No obstante, la señal diurna del viento es una de sus componentes más energéticas y su efecto sobre la corriente resultó, en la estación interior, similar al de marea, por esta razón el método de filtrar las series no puede ser adecuado.

Para la aplicación del análisis espectral múltiple se consideró la información siguiente. En la región del canal principal, la señal diurna de la corriente se identificó confiablemente como corriente de marea, y la relación entre el nivel del mar de los puntos extremos indicó que la señal

diurna de marea se propaga sin experimentar cambios notorios. Estos resultados representan la base para señalar que en la región interior el 5.0 % de la energía sea efecto de la marea diurna. Es decir, la marea debe ser la señal no condicionada

Considerando a la energía de la corriente en cada banda como el 100 % que debe ser explicado por el conjunto de agentes causales, el análisis múltiple indicó que: La energía de la corriente en la banda diurna (7.5 %), (100 %), se explica por corrientes de marea (5.0 %), (67.5 %), y por corrientes inducidas por el viento (1.0 %), (13.3 %). La energía residual resulta entonces 1.5 % (19.2 %), quedando la posibilidad que otros procesos tengan influencia sobre la corriente diurna, resultado no contemplado con el análisis ordinario.

En términos estadísticos los resultados anteriores representan la solución buscada. Pero debe tenerse en cuenta que faltan por considerar las posibles influencias de otros agentes, y además confrontar con la posible solución matemática.

7.- CONCLUSIONES

Si bien en la sección anterior se presentó lo más relevante del trabajo, a continuación se señalan algunas de las conclusiones que pueden hacerse del estudio.

Con respecto a la oceanografía de la laguna estudiada se notó que en la región del canal principal las corrientes de marea dominan la energía de la corriente total. En la región interior, por otra parte, la marea explica 79.1 % de la corriente total. Estadísticamente el viento no es un agente causal de la corriente en la región del canal, pero la corriente diurna asociada al viento en la región interior representó el 1.0 % de la energía total.

En vista de que el principio básico del análisis espectral múltiple consiste en regular la influencia de los procesos que perturban el sistema en función de la energía de las respuestas, su aplicación parece ser muy conveniente en el análisis de datos oceanográficos.

LITERATURA CITADA

Barret, S. 1979. On the Use of Coherence Functions to Evaluate Sources of Dynamic Excitation. Shock and Vibration Bulletin. 49(1):43-58

Bendat, J.S. y A.G. Piersol. 1971. Random data: analysis and measurement procedures. Wiley-Interscience., New York. 407 págs.

Bendat, J.S. 1976a. System Identification from Multiple Input/Output Data. J. Sound β Vib. 49(3):293-308

Bendat, J.S. 1976b. Solutions for the Multiple Input/Output Problem. J. Sound β Vib. 44(3):311-325

Bendat, J.S. y A.G. Piersol. 1980. Engineering applications of correlation and spectral analysis. Wiley-intrescience., New York. 302 págs.

Godin, G. 1976. The use of admittance function for the reduction and interpretation of tidal records. Marine Sciences Directorate., Canadá. Man. Rep. 42. 45 págs.

Godin, G., R. De la Paz, N. Rodriguez y M. Ortiz. 1980. Revisión de los datos de mareas para la costa occidental de México disponibles en el CICESE e interpretación de los resultados. CICESE. Ensenada, B. C., México. Inf. Tec. OC-80-02. 81 págs.

- Godin, G. 1982. Teoría de las mareas. Apuntes en circulación. CICESE. Ensenada, B.C., México. 338 págs.
- Ippen, A.T., 1966. Estuary and coastline hydrodynamics. McGraw-Hill., New York. 473 págs.
- Kinsman, B. 1965. Wind Waves. Prentice-Hall., New Jersey. 676 págs.
- Prandle, D. y M. Rahman. 1980. Tidal response in estuaries. J. Phys. Oceanogr. 10(10):1552-1573
- Morales Guerrero, E. 1982. Mareas y corrientes en la Ensenada de la Paz, Baja California Sur. Tesis Profesional. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada. B.C., México. 115 págs.
- Morales Guerrero, E. y H. Cabrera Muro. 1982. Aplicación de un modelo numérico unidimensional a la Ensenada de La Paz, B.C.S. Ciencias Marinas. 8(2):69-88
- Sandoval Mayorquín, F.J. 1983. Análisis estadístico de la corriente de marea y la influencia del viento sobre la Ensenada de la Paz, B. C. S. Tesis Profesional. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada. B.C., México. 118 págs.

APENDICE I :Teoría lineal unidireccional

En el océano la onda de marea tiene carácter estacionario, situación que se refleja en los mapas cotidales de los océanos.

Al penetrar en los estrechos y canales la marea se transforma en una onda progresiva afectada por fricción; a primera aproximación la velocidad de propagación depende únicamente de la profundidad del canal. Las variaciones a este resultado, dependen de la importancia de los procesos de fricción, función entre otros factores, del tipo de fondo de las cuencas.

En la presencia de una frontera interior se presentan las condiciones para la reflexión de la señal y dependiendo de las dimensiones de las cuencas y de las ondas que las perturban, puede ocurrir el establecimiento de ondas estacionarias, de condiciones de resonancia y de cooscilación (Ippen, 1966).

Considerando un canal de profundidad constante (h), de longitud indefinida, en dirección x , y fricción lineal (ru); el sistema linearizado resulta,

$$\partial u / \partial t = -g \partial \eta / \partial t - ru, \quad (1)$$

$$h \partial u / \partial x = -\partial \eta / \partial t. \quad (2)$$

La solución tipo onda progresiva, sin fricción, es,

$$\eta(x, t) = \eta_0 \exp i(st - kx), \quad (3)$$

$$u(x, t) = \eta_0 (g/h)^{\frac{1}{2}} \exp i(st - kx), \quad (4)$$

$$\text{donde, } k = s/(gh)^{\frac{1}{2}} = 2\pi/L ; \quad s = 2\pi/T.$$

Es decir, la variación del nivel del mar está en fase con la corriente inducida y la velocidad de propagación es dada por

$$s/k = C_0 = (g \cdot h)^{\frac{1}{2}}. \quad (5)$$

Con la inclusión de un término lineal para la fricción (ru), las soluciones toman la forma

$$\eta(x, t) = \eta_0 \exp i(st - k'x) = \eta_0 \exp i(st - ax) \exp(-bx), \quad (6)$$

$$u(x, t) = \eta_0 gk'/s \exp i(st - ax) \exp(-bx), \quad (7)$$

$$\text{donde: } k' = s [1 - i(r/s)/gh]^{\frac{1}{2}} = a - ib.$$

La velocidad de desplazamiento es ahora

$$C' = s/a = C_0 / \text{Re} (1 - ir/s)^{\frac{1}{2}}, \quad \text{donde } C' < C_0. \quad (8)$$

El cociente de las velocidades con y sin fricción puede ser empleado para evaluar el coeficiente 'r' particular de cada cuerpo de agua,

$$(r/s)^2 = \cos^4 [\text{arc tan } (r/2s)] / (C'/C_0)^4 - 1. \quad (9)$$

Por otra parte, la solución tipo onda estacionaria es,

$$\eta(x, t) = \eta_0 \exp i(st) \cos(kx), \quad (10)$$

$$u(x, t) = \eta_0 (g/h)^{\frac{1}{2}} \exp i(st - \pi/2) \sin(kx). \quad (11)$$

La elevación y la corriente están desfasadas 90 grados.

Mediante la teoría del movimiento forzado para un cuerpo de agua sin marea local, es posible con la solución de cooscilación, estudiar el efecto de la marea oceánica. Si en un tiempo arbitrario $t=0$, en la boca del cuerpo de agua se manifiesta una elevación Z_0 producto de la marea oceánica [$Z_0 \exp i(st)$], la solución para la marea inducida, dentro del cuerpo de agua de longitud M , es para el caso sin fricción,

$$\eta(x, t) = Z_0 [\cos k(x + M/2) / \cos(kM)] \exp i(st), \quad (12)$$

$$u(x, t) = Z_0 (g/h)^{\frac{1}{2}} [\sin k(x + M/2) / \cos(kM)] \exp i(st - \pi/2) \quad (13)$$

La velocidad está desfasada 90 grados respecto de las elevaciones, y la condición de resonancia $\cos(kM)=0$, se expresa finalmente, $M=L/4$.

La solución considerando fricción es,

$$\eta(x, t) = Z_0 [\cos(k'x) / \cos(k'M)] \exp i(st), \quad (14)$$

$$u(x, t) = Z_0 gk'/s [\sin(k'x) / \cos(k'M)] \exp i(st - \pi/2) \quad (15)$$

La condición de resonancia infinita no puede existir en presencia de fricción ($k'M \neq 0$). En este caso, bajo condiciones de resonancia, existirá una amplificación finita.

Cuando la fricción es débil, $r/s \ll 1$; $b \ll a$.

$$k' = s[1 - i(r/s)/gh]^{1/2} = k - i\varepsilon; \quad k \simeq a; \quad \varepsilon = kr/2s = r/2(gh)^{1/2}$$

Con lo cual,

$$\eta(x, t) \simeq Z_0 \exp i(st) [\cos kx / \cos kM + i\varepsilon / \cos kM \\ (x \sin kx - M \cos kx \tan kM)], \quad (16)$$

$$u(x, t) Z_0 (g/h)^{1/2} \exp i(st - \pi/2) [\sin kx / \cos kM \\ - i\varepsilon(M \tan kM + k^{-1}) \sin(kx + x \cos kx)]. \quad (17)$$

El primer término corresponde a la solución sin fricción y el segundo representa la contribución de la fricción.

APENDICE II :Modos forzados de oscilación

Las funciones de respuesta encontradas para la relación entre las estaciones mareográficas de La Paz y Comitán, puntos extremos de la laguna, indicaron una amplificación de la señal hacia Comitán.

Esta característica puede ser el resultado de condiciones de resonancia en la laguna. Para probar esta hipótesis, se consideró a la laguna de forma rectangular y de profundidad constante y se calcularon las condiciones de resonancia de los modos forzados, con y sin fricción. Las componentes diurna y semidiurna se consideraron como las frecuencias de forzamiento.

La forma rectangular parece ser la más apropiada, dada la morfología de la laguna. Si se modelara en forma circular quedarían amplias zonas someras.

La condición de resonancia para los modos forzados sin fricción, ocurre cuando la longitud del sistema resulta un múltiplo entero de $1/2$ de la longitud de la onda que lo perturba (Godin, 1982). Considerando a las componentes M1 y M2 representativas de las bandas diurna y semidiurna respectivamente y siendo 4.7 m la profundidad típica del

transecto, las longitudes de onda dentro de la laguna resultarían de 585 y 303 km respectivamente. La longitud del sistema es de 11 km, por lo cual la condición de resonancia no se puede cumplir, ni aún en presencia de fricción.