



\*D-9623\*

ESC

LR

**POLITECNICA DEL LITORAL**

**FACULTAD DE INGENIERIA MARITIMA Y CIENCIAS DEL MAR**

**“ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS NIVELES  
Y FASES DE LAS MAREAS EN EL SISTEMA  
RIO GUAYAS - ESTERO SALADO”**

**TESIS DE GRADO**

**Previa a la Obtención del Título de:**

**OCÉANOGRÁFO**

**Presentada por:**

**JOHNNY CHAVARRIA V.**

**GUAYAQUIL - ECUADOR**

**1988**



**BIBLIOTECA**

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

Al M. Sc. Francisco Medina P., Director de tesis, por su valiosa colaboración para la culminación de este trabajo.

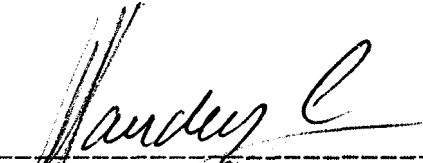
Al CPMG-EM Hernán Moreano A., Director del Instituto Oceanográfico de la Armada, por su gran predisposición para la realización de esta investigación, al haber facilitado la información de mareas.

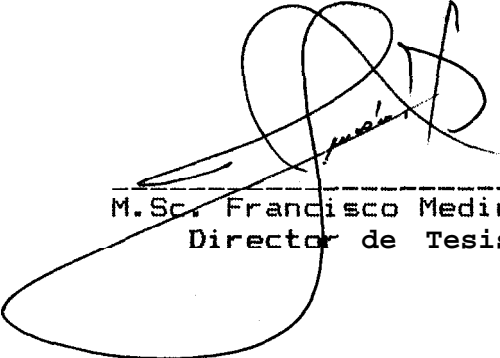
A B. Bayot, por su apoyo constante para la culminación de esta tesis, así como al personal de la Sección Mareas del INOCAR y a M. Ceballos, por su decisiva ayuda en aspectos muy importantes del trabajo que aquí se presenta.

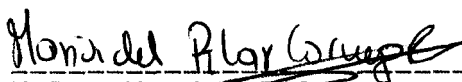
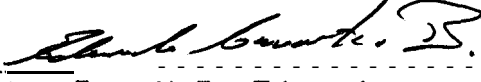
D E D I C A T O R I A

A Germania Viteri S.,  
por ser una madre  
insuperable.



  
-----  
M.Sc. Enrique Sánchez C.  
Subdecano Facultad de  
Ingeniería Marítima  
Presidente Tribunal

  
-----  
M.Sc. Francisco Medina P.  
Director de Tesis

   
-----  
M.Sc. ~~María del Pilar~~ Cornejo R.      M.Sc. Eduardo Cervantes B.  
Miembro del Tribunal                      Miembro del Tribunal

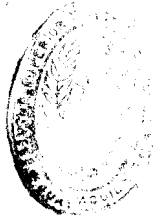
## DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Exámenes y Títulos profesionales de la ESPOL).



-----  
Johnny Chavarría Viteri



## R E S U M E N

LIBROTECA

Se realizó un análisis gráfico de las oscilaciones de los niveles de referencia en varias estaciones ubicadas en el sistema estudiado, esto demostró la asociación de tales oscilaciones con variaciones estacionales e interanuales de las condiciones oceanográfico-meteorológicas del At-ea. Adicionalmente, se efectuó un análisis de tendencia de tales niveles, encontrándose una ligera tendencia positiva en la estación Posorja. Posteriores estudios demostraron también, alguna tendencia en las constantes armónicas principales en esta estación, así como mucha inestabilidad en la estación Guayaquil.

Seguidamente, un análisis de las amplitudes y fases de las mareas demostró que el comportamiento de éstas en el río Guayas tiene un carácter predominantemente progresivo, mientras que en el estero Salado, predomina mas bien el carácter estacionario. Lo que fue comprobado luego, con la construcción de las cartas cotidales de las componentes principales de las bandas diurna y semidiurna.

Un análisis de los residuos obtenidos de la diferenciación de la marea predicha respecto de la observada,

demostró que la predicción en las estaciones investigadas presenta imperfecciones apreciables, tanto en tiempo como en altura, especialmente en las bajamares.

Finalmente, se investigaron los efectos que producen las descargas de los rios Daule y Babahoyo, sobre el patrón mareográfico del sistema.

## I N D I C E   G E N E R A L

	Pág.
RESUMEN -----	VI
INDICE GENERAL -----	VIII
INDICE DE FIGURAS -----	XI
INDICE DE TABLAS .....	XVI
INTRODUCCION .....	18
<b>I. FUNDAMENTOS TEORICOS -----</b>	<b>22</b>
1.1. El f enheno de las mareas, características generales --w--m-----	24
1.1.1. Las fuerzas generadoras de las mareas .....	26
1.2. La marea. Una suma de ondas .....	37
1.3, Comportamiento de la marea en estuar i os y canales .....	47
1.3.1. Primer caso (onda progresiva) ---	51
1.3.2. Segundo caso (onda estacionaria)-	53
1.4. Predicción de mareas --1-w-----	57
<b>11. OBTENCION Y ANALISIS DE LA INFORMACION MAREOGRAFICA -----D-B-----</b>	<b>60</b>
2.1. Instrumentos utilizados. Instalación ---	61
2.1.1. La regla de mareas -----	61
2.1.2. El mareógrafo -----	64



	Pág.
2.2. La estación mareográfica: Selección del sitio y componentes de la estación -----	72
2.2.1. Selección del sitio de instalación .....	74
2.2.2. Componentes de la estación mareográfica .....	76
2.3. Procesamiento de la información mareográfica .....	78
2.3.1. Principales fuentes de error y métodos de corrección .....	80
2.3.2. Tabulación .....	87
2.4. Niveles de referencia -----w-----m--	91
2.4.1. Marcas de nivelación de las mareas .....	92
2.4.2. Principales niveles referenciales obtenidos de la observación de las mareas .....	93
III. ANALISIS DE LA INFORMACION MAREOGRAFICA EN EL SISTEMA RIO GUAYAS - ESTERO SALADO .....	100
3.1. Variación de los niveles de referencia -	101
3.1.1. Preponderancia de las componentes semidiurnas en el sistema Rio Guayas - Estero salado .....	102
3.1.2. Variación mensual de los principales niveles de referencia .....	104

	Pág.
3.1.3. Análisis de tendencia -----	110
3.2. Análisis de las amplitudes y fases de las mareas -----	128
3.2.1. Ondas estacionaria5 y ondas progresi va5 -----m-w-----	128
3.2.2. Cartas cotídales -----	145
3.3. Comparación entre la predicción y los datos observados -----	157
3.4. Efecto de los caudales de los rios Babahoyo y Daul e, sobre el patrón mareogrdfico en el área de estudio -----	170
IV. EVALUACION DE LOS RESULTADOS -----	194
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES -----	198
BIBLIOGRAFIA -----	204

## I N D I C E D E F I G U R A S

Fig./No.		Pág.
1	a) Rotación de la tierra alrededor del centro común de gravedad del sistema tierra-luna -----	31
	b) Zona de equilibrio de la fuerza centrífuga y la fuerza gravitatoria -----	31
2	Fuerzas, generadoras de las mareas -----	34
3	a) Descomposición de las fuerzas generadoras de las mareas -----	35
	b) Fuerzas tractivas -----	35
4	a) Elementos que intervienen en la deducción del potencial de mareas -----e-----m-----	40
	b) Determinación de COS Z -----	40
5	a) Forma de la onda de marea y distribución de la corriente en la dirección de la propagación ----- S m-----	52
	b) Rompimiento de la onda de marea en aguas poco profundas -----	52
6	a) Onda estacionaria en el estuario -----	55
	b) Armónicos de la onda fundamental -----	55
	c) Caso real. Nudo fuera de, la boca del estuario -----	55
7	Orbitas de la luna y el sol proyectadas en la esfera celeste -----	58.

Fig. /No.	Pág.
8 Instalación de la regla de marea -v-----w--	63
9 Mareógrafo básico -----	67
10 Mareógrafo bárico -----	69
11 Mareógrafo de presión -----	69
12 Registros de cintas perforadas para mareógrafos analógico - digitales -----	71
13 Errores en altura -----	84
14 Errores en tiempo -----	85
15 Tarjeta de descripción de la ubicación y de la posición de la estación mareográfica -----	94
16 Posición de los niveles referenciales de las mareas en la regla -----	96
17 Area de estudio -----	101
18 Variación de los niveles de referencia de las mareas en Guayaqui 1 (promedios mensuales) ----	106
19 Variación de los niveles de referencia de las mareas en Posorja (promedios mensuales) -----	108
20 Variación de los niveles de referencia de las mareas en Puerto Maritimo (promedios mensuales) -----	109
21 Variación de 105 niveles de referencia de las mareas en Guayaquil (promedios anuales) -----	111
22 Variación de los niveles de referencia de las mareas en Posorja (promedios anuales) -----	112
23 Variación de los niveles de referencia de las	

Fig./No.	Pág.
mareas en Puerto Marítimo (promedios anuales) -----	113
24 Líneas de regresión del nivel medio de las mareas -----	117
25 Posiciones para el cálculo de anchos y secciones en el estero Salado -----	133
26 Variación de anchos y secciones respecto a la cabecera c-II el estero Salado -----	134
27 Variación horaria del nivel del agua en el sistema. Bajada de la marea 00h00 -- 05h00 (18/10/84) -----	140
28 Variación horaria del nivel del agua en el sistema. Subida de la marea 06h00 - 11h00 (18/10/84) -----	141
29 Variación horaria del nivel del agua en el sistema. Bajada de la marea 12h00 -- 17h00 (18/10/84) -----	142
30 Variación horaria del nivel del agua en el sistema. Subida de la marea 18h00 - 23h00 (18/10/84) -----	143
31 Carta cotidal de la constituyente 112 -----	153
32 Carta cotidal de la constituyente S2 -----	154
33 Carta cotidal de la constituyente N2 -----	155
34 Carta cotidal de la constituyente K2 -----	156
35 Carta cotidal de la constituyente K1 -----	158

Fig. /No.	Pág.
36 Carta cotidal de la constituyente 01 -----	159
37 Confiabilidad da, las predicciones (en porcentaje) en varias estaciones del sistema. Marro 1986 -----	165
38 Confiabilidad de las predicciones (en porcentaje) en varias estaciones del sistema. Septiembre 1986 -----	166
39 Distribución de "errores" de tiempo en la predicción de la estación Guayaquil. Año 1986 -----	171
40 Distribución de "errores" de altura en la predicción de la estación Guayaquil. Año 1986 -----	172
41 Evolución del perfil tempnral de la marea en el rio Guayas -----	176
42 Evolución del perfil temporal de la marea en el estero Salado -----	178
43 Anomalías normalizadas MLWS Puerto Maritimo - Descarga rio Guayas -----	182
44 Anomalías normalizadas MLWS Puerto Maritimo - Descarga rio Guayas. Medias móviles de 3 meses -----	183
45 Anomalías normalizadas MLWS Puerto Maritimo - Descarga t-fo Guayas. Medias móviles de 6 meses -----	184

Fig. /No.	Pdg .
46 Anomalías normalizadas MLWS Puerto Marítimo - Descarga río Guayas. Medias móviles de 12 mese5 .....	185
47 Componentes estacionales del MTL en la estación Guayaquil .....	190
48 Componentes estacionales del MTL en la estación Puerto Maritimo .....	191
49 Componentes <b>estacionales</b> del MTL en la estación Posorja .....	192

I N D I C E   D E   T A B L A S

Tabla/No.	Pág.
I      Frecuenci as de los principales movimientos astronómicos del sistema Tal-tierra-luna ---	45
II     Constituyentes astronómicas de las mareas --	48
III    Constituyentes de bajo fondo de las mareas -----	49
IV     Porcentaje estimado de utilización de información proveniente de cada mareógrafo -	65
V      Componentes de la estación mareográfica ----	77
VI     Preponderancia de la5 componentes semidiurnas en el sistema Río Guayas - Estero Sal ado .....	103
VII    Nivel medio de la marea - Regresión lineal -	118
VIII   Estación Guayaquil - Estabilidad de las constituyentes -----	122
IX     Estación Posorja - Estabilidad de las constituyentes -----	123
X      Estación Puerto Maritimo - Estabilidad de las consti tuyentes .....	124
XI     Lista de anchos y secciones en el Estero Sal ado -----	132
XII    Reflexión de la onda oceánica de la marea en la cabecera del Estero Salado -----	137





BIBLIOTE

Tabla/No.

XIII	Alturas horarias en las estaciones - Variación diurna del nivel del agua .....	139
XIV	Lista de las constantes armónicas utilizadas -----	147
xv	Relaciones internas entre constantes .....	150
XVI	Porcentajes de ocurrencia de "errores" de predicción. Marzo 1986 -----	161
XVI 1	Porcentajes de ocurrencia de "errores" de predicción. Septiembre 1986 .....	161
XVIII	Errores de tiempo en la estación Guayaquil. Año 1986 -----e-----M--	168
XIX	Errores de altura en la estación Guayaquil. Año 1986 -----	169
xx	Serie de tiempo: Descarga rio Guayas - Anomalías normalizadas -----	175
xx1	Serie de tiempo: MLWS Puerto Maritimo - Anomalías normalizadas .....	181
xx11	Componentes estacionales del MTL. Estación Guayaquil -----	187
XXIII	Componentes estacionales del MTL. Estación Puerto Maritimo -----	188
XXIV	Componentes estacionales del MTL. Estación Posorja -----	189

## I N T R O D U C C I O N

La marea es uno de los pocos fenómenos de la naturaleza cuya predicción puede ser bastante acertada, gracias a su relación directa con movimientos astronómicos de periodicidad conocida. Sin embargo, este hecho aparentemente sencillo que implica la causalidad de un fenómeno con respecto al otro, sólo puede ser totalmente explicado gracias a consideraciones matemáticas y estadísticas bastante complicadas que han dado origen a la creación de una verdadera ciencia, que estudia no sólo la formación de las mareas, sino su comportamiento, predicción y dinámica.

Las mareas además, influyen directamente sobre otros fenómenos oceánicos de importancia, por tal razón, una descripción de su comportamiento es de rigor en la mayoría de las investigaciones oceanográficas, especialmente en aquellas realizadas en zonas costeras.

Gracias a los antecedentes previos, y a múltiples implicaciones de carácter técnico y social, los estudios de las mareas han alcanzado un alto grado de desarrollo en muchos países. En Ecuador, si n embargo, son escasos los

trabajos científicos realizados al respecto, y no existe un tratamiento sistemático de la información, que esté de acuerdo con 105 requerimientos técnicos que se necesitarán en el futuro inmediato, con el desarrollo esperado de la zona costera y estuarina, gracias a la industrialización que se generará asociada a: la ejecución del proyecto de transporte fluvial y marítimo, la realización del "PROYECTO DE PROPOSITO MULTIPLE JAIME ROLDOS AGUILERA" y otros auspiciados por CEDEGE, y al incremento de la acuicultura.

La presente tesis está dirigida a llenar el vacío existente, y su objetivo principal será el estudio de las condiciones mareológicas del sistema estuarino formado por el río Guayas y el estero Salado, mediante el análisis sistemático de la información.

Para cumplir con el objetivo planteado, se ha dividido el trabajo en varios capítulos; así, en el Capítulo I, se hace una introducción teórica básica, que tiene que ver principalmente con aspectos relativos a: la generación de las mareas, su comportamiento en estuarios, y su predicción. Estos conocimientos son importantes para la comprensión de los capítulos posteriores de la tesis.

En el capítulo II, se explican los aspectos técnicos de la obtención y procesamiento de la información de mareas,

105 mismos que fueron seguidos por el autor, en la Sección Mareas del Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR), durante los años 1984 y 1985. Los procedimientos descritos, fueron aplicados directamente por el responsable de este trabajo, a gran parte de la información aquí utilizada.

El Capítulo III, presenta el análisis de la información, y ha sido dividido en varias áreas de interés de los estudios mareológicos:

Se estudiara entonces el comportamiento de los niveles de referencia de las mareas, mediante un análisis gráfico de las series de tiempo, así como de la estabilidad de las mismas y de las principales constituyentes de la marea, para lo que se seguirán las técnicas utilizadas por Godin et al. (1980).

Se estudiará también el comportamiento dinámico de la marea, utilizando como quia los trabajos de Peña (1977) y Godin et al. (1980), entre otros.

Se hará un análisis comparativo de los valores obtenidos mediante la predicción de mareas y aquellos correspondientes a la marea observada, para lo que se utilizara como base principal el trabajo de Dohler (1966).

Los trabajos realizados por Godín (1967), Lennon (1967), Peña (1977) y Godín (1985) entre otros, servirán de guía para estudiar el efecto de las descargas de las mareas de las estaciones de Daule y Babahoyo sobre el patrón mareográfico del sistema.

Finalmente, en el Capítulo xv, se presenta una evaluación de los resultados obtenidos.

Considerando entonces los diversos puntos que serán investigados, el autor espera que esta tesis sea una ayuda técnica, para: hidrógrafos, oceanógrafos y estudiantes, así como para aquellas personas interesadas en la utilización del estuario. Espera también, motivar el desarrollo de las investigaciones mareológicas en todas las zonas costeras y estuarinas del país.



## C A P I T U L O 1

### FUNDAMENTOS TEOHICOS

El fenómeno de las mareas es conocido desde la antigüedad por pueblos ribereños, cuyas costas han sido testigo de fuertes fluctuaciones en el nivel del mar. Sin embargo, en pueblos mediterráneos, donde las amplitudes son pequeñas, el fenómeno pasó prácticamente desapercibido.

Ya desde la antigua Grecia, se advertía una relación entre la posición lunar y las mareas, pero muchas veces ésta era negada por desconocerse aun la fuerza de la gravedad. Así, se mencionaron fuentes muy diversas, algunas veces disparatadas, entre ellas: la teoría de Aristóteles que decía que eran producidas por el viento; Platón que imaginaba que las mareas se debían a afloramientos de aguas temporalmente encerradas en grutas submarinas; o la teoría de Leonardo Da Vinci que pensaba que las mareas eran una expansión del agua ocasionada por la respiración de La Tierra, etc. (Enciclopedia Salvat de "El Mar").

Luego en las postrimerías del medievo, surge un grupo de

hombres , de cuyas ideas nacería la ciencia como la conocemos actualmente: Copérnico, Galileo, Tycho Brahe, Kepler y posteriormente Newton. De ellos Johannes Kepler (1571-1630) fue uno de los principales artífices de la revolución científica y el precursor de los estudios de las mareas.

Es muy justo comentar aquí, que si se analizan en detalle las leyes de Kepler, obtenidas a partir de las observaciones sistemáticas del planeta Marte realizadas por Tycho Brahe (1546-1601) y si agregamos a estas, su estudio del efecto de la luna y el sol sobre las mareas, podríamos decir que la teoría de la gravitación y el concepto de fuerza se encuentra implícito dentro de ellas, razón por la cual, Kepler es considerado por muchos como el padre de la ciencia.

Kepler se sintió aislado en su época porque sus ideas no fueron comprendidas ni siquiera por Galileo (1564-1642) (Hemleben,1985), teniendo que pasar mucho tiempo hasta que Isaac Newton (1642-1727) leyera sus libros ASTRONOMIA NOVA (1609), DE HARMONICE MUNDI (1619) y SOMNIUM, a partir de los cuales dedujera la ley de la gravitación universal y formulara luego su teoría estática de las mareas o teoría del equilibrio (Koestler,1985).

### 1.1. EL FENOMENO DE LAS MAREAS. CARACTERISTICAS GENERALES.

Debido a lo extensa de la **bibliografía** tratada, se ha modificado la estructura así como la nomenclatura de las **fórmulas** de los diferentes autores, **que son** enunciadas en el presente Capitulo; también se han deducido algunas ecuaciones para dar continuidad al contexto general del aspecto **matemático** de la **teoría** de **mareas** presentada aquí.

A continuación se describirán las dos principales teorías formuladas acerca de la formación de las mareas, así como varios aspectos relativos a las fuerzas que las generan.

**Teoría estática:** surge en un momento en que no había un conocimiento de lo que ahora llamamos **Hidrodinámica**. En ella, las **únicas** fuerzas actuantes eran, la **atracción** de la gravedad, la fuerza centrífuga y una fuerza residual, de la cual se tomaba la componente vertical como la formadora de las mareas, **considerándose** a la masa de agua como desprovista de inercia y viscosidad. Supone **también**, que la fuerza generadora de la marea actúa sobre un cuerpo esférico homogéneo, cubierto por una capa líquida también homogénea, la cual se encuentra en reposo en el momento en que la fuerza actúa y permanece en reposo



cuando la fuerza desaparece.

Esta teoría, por ser tan idealizada no se acoplaba plenamente a la realidad y mostraba significativas diferencias respecto a los datos reales, así:

a) Los valores calculados para las amplitudes de mareas, eran bastante menores que los observados en la mayoría de los lugares.

b) Existía un retraso entre la reacción a un estímulo astronómico y su manifestación en la marea.

c) No se explicaban distorsiones en los perfiles espaciales y temporales.

d) otros.

Con el desarrollo de la hidrodinámica, surgió una nueva explicación al fenómeno, siendo Laplace el principal artífice de ésta.

Teoría dinámica: en esta teoría, la componente horizontal de la fuerza residual del sistema Tierra-Luna, será la fuerza tractiva, generadora de la marea. Es decir que se asume el efecto de la componente vertical, como poco significativo respecto del

primera. Naturalmente la componente horizontal será muy pequeña; sin embargo, es la suma de estas pequeñas fuerzas lo que originará un incremento o un decremento del nivel del mar respecto de su nivel medio, dependiendo de si estas fuerzas están originando corrientes de mareas que convergen en un lugar, o divergen de él.

Los efectos resultantes tendrán entonces el periodo de las fuerzas perturbadoras, en este caso, las fuerzas generadoras de las mareas. Debido a la inercia, la reacción de la masa de agua al estímulo gravitatorio, no será inmediata, produciéndose entonces ondas forzadas que viajarán a través del océano hasta disipar su energía completamente.

De lo anterior podemos concluir, que tanto las mareas verticales como las horizontales, al ser periódicas, son también predecibles.

#### 1.1.1. LAS FUERZAS GENERADORAS DE LAS MAREAS

Los movimientos de los cuerpos celestes encuentran gobernados por relaciones de equilibrio dinámico existente entre ellos. Así, el sistema Sol-Tierra-Luna guarda sus distancias relativas, gracias al efecto combinado

de la fuerza gravitatoria y la fuerza centrífuga. No obstante, siendo los cuerpos "esféricos", las fuerzas no actuarán homogéneamente en toda la superficie, originándose entonces fuerzas residuales las cuales en definitiva producirán mareas.

Con poco cálculo se puede demostrar que el efecto lunar sobre las mareas es aproximadamente 3 veces mayor que el solar, debido principalmente a la cercanía de la Luna a la Tierra. Por tal razón para efectos de explicación, nos referiremos independientemente al caso Luna-Tierra.

Sabemos que:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{d^2} \quad \text{Ley de la gravitación universal} \quad (1.1)$$

Donde G = constante gravitacional

Considerando a la tierra como una esfera de radio r y masa T. La atracción que ejercerá la tierra sobre una partícula de masa unitaria, sobre su superficie, será:

(1.2)

sabemos también, que la siguiente es cierto

$$F_t = m g = g \quad (1.3)$$

$m =$  masa unitaria

luego

$$g = G \frac{T}{r^2}$$

Despejando

$$G = g \frac{r^2}{T} \quad (1.4)$$

Definiremos en función de este elemento todas las fuerzas de ahora en adelante.

Si  $L$  es la masa de la Luna y  $R$  la distancia entre el centro de la Luna ( $O'$ ) y el centro de la Tierra ( $O$ ). Entonces, la atracción ejercida por la Luna sobre un cuerpo de masa unitaria ubicado en el centro de la Tierra, será:

$$F_g = G \frac{L}{R^2} \quad (1.5)$$

y sobre un punto p cualquiera, será:

$$F_p = G L/X^2 \quad (1.6)$$

sustituyendo el valor de G en estas 2 expresiones, tendremos

$$F_g = g (L r^2)/(T R^2) \quad (1.7)$$

$$F_p = g (L r^2)/(T X^2) \quad (1.8)$$

Ahora, no pensemos en la Luna girando alrededor de la Tierra, sino en ambos astros girando en torno a un centro de gravedad común, en su movimiento de traslación en conjunto.

Calculamos ahora la posición de ese punto al que llamaremos C.

Entonces, C dividirá la distancia R así:

$$\overline{R} = \overline{OC} + \overline{CO'}$$

además, sabemos que :

$$\overline{OC}/\overline{CO'} = L/T \quad (1.9)$$

como  $R = 60r$  y  $T = 83L$ , entonces

$$CO = (60/84)r \cong 3r/4 \quad (1.10)$$

lo cual indica que -el punto C se encuentra aproximadamente a  $(3/4)r$  del centro de la Tierra.

Estudie ahora el movimiento de traslación del conjunto en torno a C. Imaginemos que las dos órbitas se encuentran proyectadas sobre el plano del ecuador terrestre. Si vemos el centro de la Tierra y el ecuador en dos posiciones sucesivas 1 y 2, correspondientes a 2 posiciones sucesivas de la Luna (fig. 1a), el centro del círculo describirá un arco de circunferencia  $\widehat{AA'}$  de radio  $\overline{AC}$  con respecto al centro común C. Si asumimos ahora, una Tierra sin rotación sobre su eje, una dirección arbitraria AB conservara mediante este movimiento de traslación, su dirección en el espacio, colocándose en una posición A'B'. Lo importante es que todos los puntos de AB describirán arcos de circunferencia de radio iguales a  $\overline{CA}$ . Podemos entonces afirmar, que la fuerza centrífuga existente sobre la Tierra, la cual equilibra la fuerza de atrac-

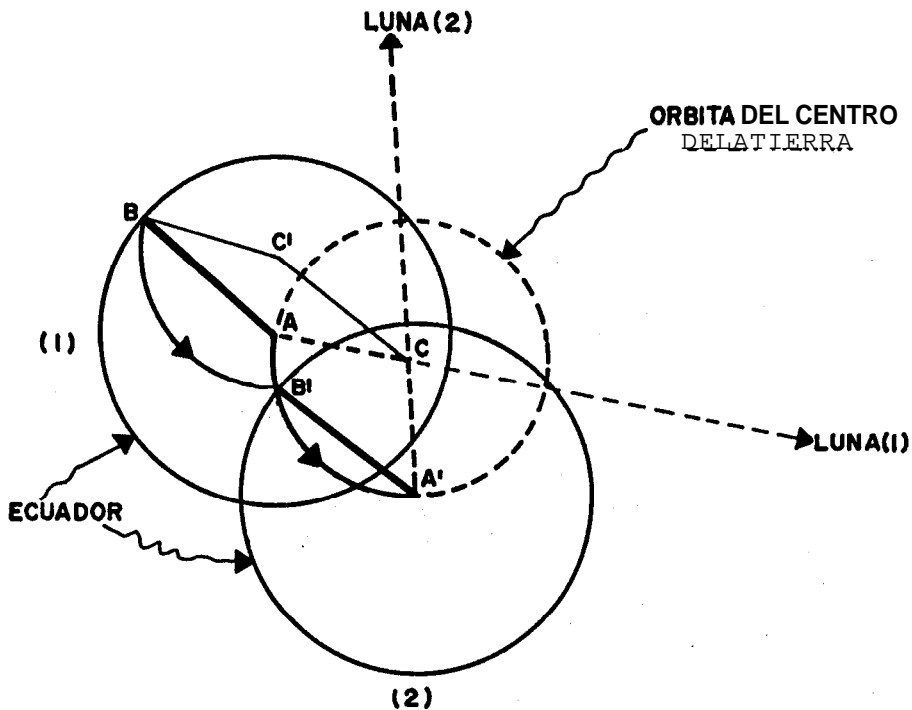


FIG. 1a).- ROTACION DE LA TIERRA ALREDEDOR DEL CENTRO COMÚN DE GRAVEDAD DEL SISTEMA TIERRA-LUNA.

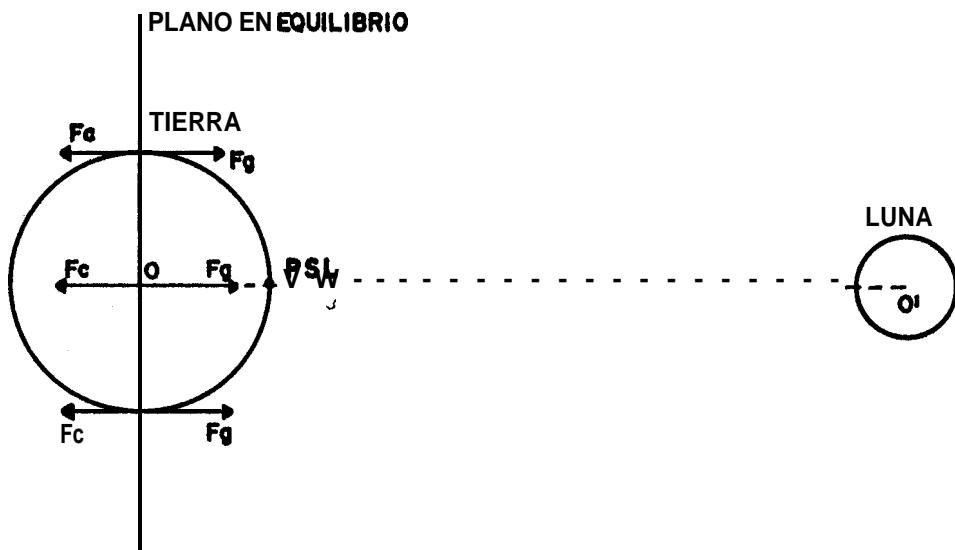


FIG 1b).- ZONA DE EQUILIBRIO DE LA FUERZA CENTRIFUGA Y LA FUERZA GRAVITATORIA.

ción lunar ejercida sobre el centro de la Tierra (atracción lunar promedio), es igual en todos los puntos de ésta.

Al ser la fuerza centrífuga constante, solo existirá un equilibrio real en el plano que pasa por el centro de la Tierra y que es perpendicular a la línea OO' (fig. 1b).

Esta fuerza será igual en magnitud y contraria en sentido a la presentada en (1.7).

$$F_c = -g (L r)^2 / (TR)^2 \text{ FUERZA CENTRIFUGA (1.11)}$$

En el PSL (punto sublunar), debido a su cercanía con la Luna, la fuerza gravitatoria aventajara a la centrífuga y por tanto habrá una marea alta en dicho punto; en el nadir, es decir en el punto opuesto, la fuerza centrífuga será mayor que la gravitatoria, por tanto habrá también una pleamar, aunque de magnitud ligeramente menor.

En virtud del movimiento diurno, la fuerza generadora de la marea no conserva fija su posición en el espacio, en tal caso es muy conveniente entonces, descomponer la fuerza



en dos componentes, una horizontal (fuerza tractiva) y otra vertical (fig. 2). Esta figura nos muestra un análisis muy gráfico de la situación, pero quizás muy complicado para el cálculo, por tal razón, para la determinación análitica de  $F_v$  y  $F_h$  recurriremos al cuadro simplificado de la figura 3a.

Tenemos entonces:

$$F_v = F_c \cos z + F_g \cos VPO' \quad (1.12)$$

$$F_h = F_c \sin z + F_g \sin VPO' \quad (1.13)$$

$$\sin VPO' = \sin OPO' = (R/x) \sin z$$

$$(x \sin VPO' = R \sin z)$$

$$\begin{aligned} \cos VPO' &= (1 - \sin^2 OPO')^{1/2} = \\ &= (1 - (R/x)^2 \sin^2 z)^{1/2} \end{aligned}$$

donde

$$\begin{aligned} x^2 &= r^2 + R^2 - 2rR \cos z \\ &= R^2 (1 + (r/R)^2 - 2(r/R) \cos z) \end{aligned} \quad (1.14)$$

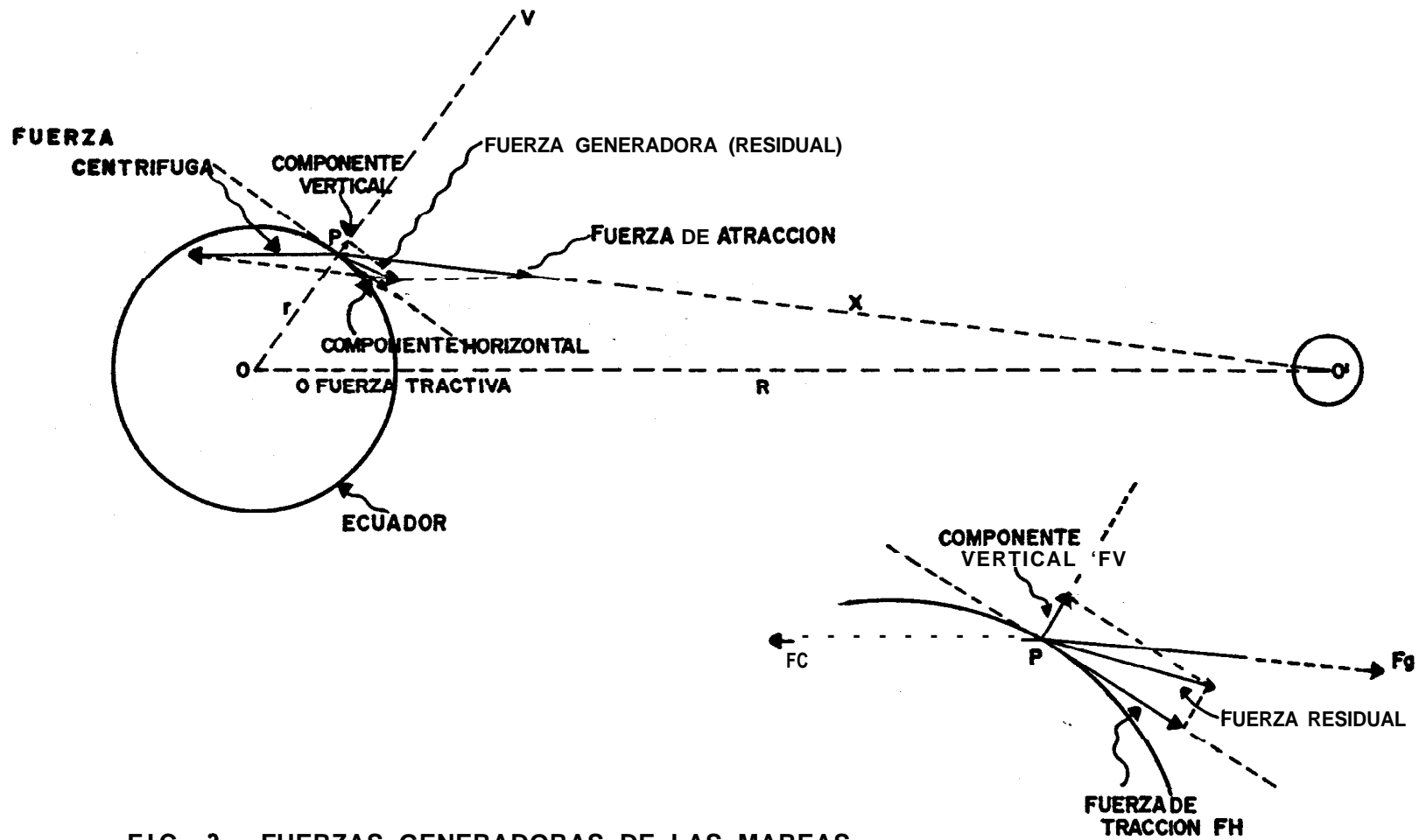


FIG. 2.- FUERZAS GENERADORAS DE LAS MAREAS

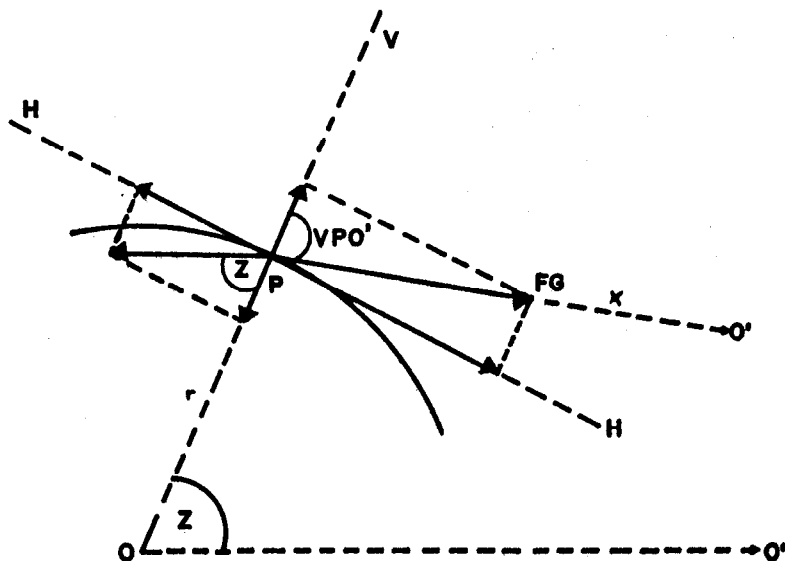


FIG. 3a).- DESCOMPOSICION DE LAS FUERZAS GENERADORAS DE LAS MAREAS.

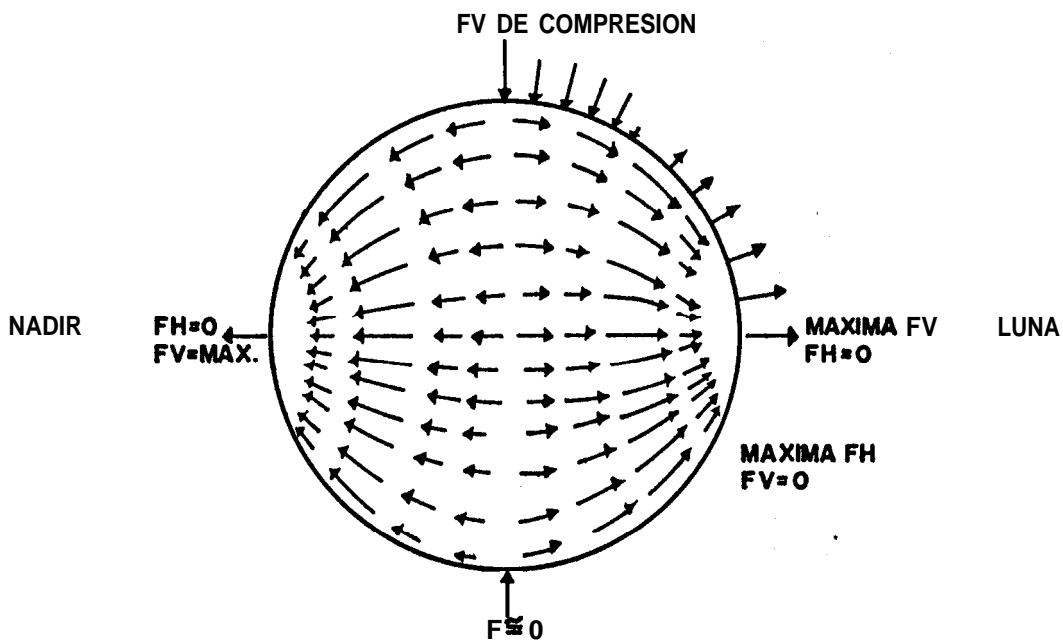


FIG. 3b).- FUERZAS TRACTIVAS

$$\text{senVPO.} = \text{senz} / (1 + (r^2 / R^2) - 2(r/R) \text{cosz})^{1/2}$$

$$\text{cosVPO}' = (\text{cosz} - (r/R)) / (1 + (r^2 / R^2) - 2(r/R) \text{cosz})^{1/2}$$

Sustituyendo luego en las expresiones para Fv y Fh, estas quedarán en función de los valores conocidos z, r y R:

$$F_v = (Lr^2 / TR^2) g \left( \frac{\text{cos z} - (r/R)}{(1 + (r^2/R^2) - 2(r/R)\text{cos z})^{3/2}} - \text{cos z} \right) \quad (1.15)$$

$$F_h = (Lr^2 / TR^2) g \left( \frac{\text{sen z}}{(1 + (r^2/R^2) - 2(r/R)\text{cos z})^{3/2}} - \text{sen z} \right) \quad (1.16)$$

1.15 y 1.16 son las expresiones exactas de las fuerzas generadoras de las mareas, pudiendo con ellas calcularse de manera sencilla, la magnitud de las fuerzas en cualquier posición de la Tierra, verificándose fácilmente lo observado en la fig. 3b, en la cual se han graficado de manera especial las fuerzas tractivas.

Es de notar aquí, que con un  $z$  alrededor de  $90^\circ$  la fuerza vertical es totalmente negativa, y por tanto existe una compresión que se suma a la fuerza de la gravedad. Es interesante observar también que con  $z = 45^\circ, 135^\circ, 225^\circ$  y  $315^\circ$  se obtienen las máximas fuerzas horizontales.

## 1.2. LA MAREA. UNA SUMA DE ONDAS

En el subcapítulo anterior se analizó la incidencia de las fuerzas generadoras en puntos en particular y en un momento determinado; generalizaremos ahora el problema y plantearemos la condición más real de una tierra en movimiento en el espacio-tiempo.

Es lícito aplicar aquí el concepto de un campo de fuerzas generadoras de las mareas, el cual tendrá un potencial que llamaremos  $P_m(r, \lambda, \theta, t)$ ; el problema principal será la derivación de este potencial con respecto a parámetros astronómicos, y determinar así el efecto de cada uno de éstos en las fuerzas generadoras y en las mareas en sí.

Muchos científicos se interesaron por resolver este complicado problema, siendo Doodson (1921) quién descompuso el potencial de las fuerzas generadoras

en una serie de **términos** con frecuencias **características**.

### 1.2.1. ANALISIS ASTRONOMICO DE LAS MAREAS

Para hacer esto, nos basaremos en el hecho conocido de **que** la suma de ondas origina también **ondas**; esto **servirá** entonces para tratar de buscar las componentes de las ondas de mareas y luego relacionarlas con los **movimientos astronómicos** del sistema **sol-tierra-luna**.

Para efectos prácticos **substituiremos** a la luna y al sol por muchos astros ficticios, los cuales **girarán** en **órbitas** circulares siguiendo **movimientos** simples, alrededor de una tierra sin rotación, proyectados en una esfera celeste también sin rotación, la cual se mueve longitudinalmente con la tierra. Esta **substitución** será muy útil puesto **que** nos **permitir-L** simplificar muchos problemas y tratarlos de una manera **más** sencilla; **así**, el efecto **semidiurno** será producido por un astro ficticio **girando** a **velocidad** constante al rededor de la tierra y el efecto de la **elipsidad** de la **árbita** lunar será producido



por otros dos astros.

La mayoría de esos cuerpos celestes ficticios se moverán siguiendo el curso del ecuador de la esfera a diversas velocidades angulares, interfiriendo entre ellos, reforzando o cancelando así sus efectos sobre las mareas. Cada onda originada entonces, será un constituyente o componente del potencial de mareas. Definamos algunos de ellos en términos de la figura 4a:

$$P_m = \frac{GLm}{PO'} - GLm \cos Z \left( \frac{r}{R} \right)^2 \quad (1.17)$$

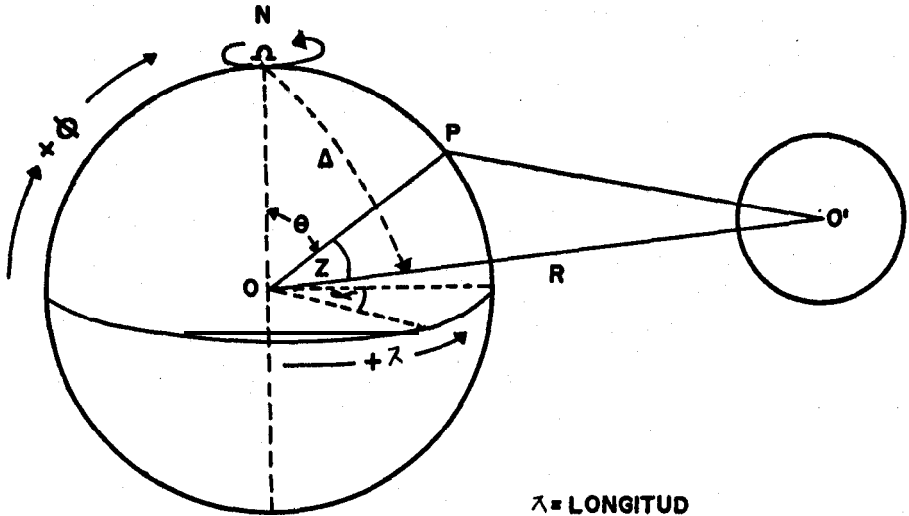
donde,

$$\begin{aligned} PO'^2 &= R^2 + r^2 - 2Rr \cos Z \\ &= R^2 \left( 1 + \left( \frac{r}{R} \right)^2 - 2 \left( \frac{r}{R} \right) \cos Z \right) \end{aligned}$$

$$PO' = R \left( 1 - \left( \frac{2r}{R} \right) \cos Z + \left( \frac{r}{R} \right)^2 \right)^{1/2}$$

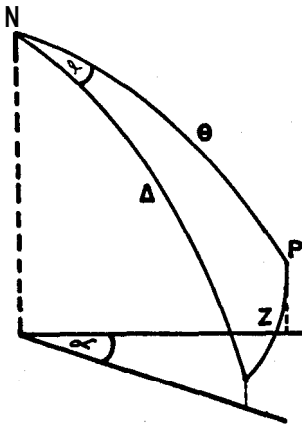
$$\begin{aligned} P_m &= \frac{GLm}{R \left( 1 - \left( \frac{2r}{R} \right) \cos Z + \left( \frac{r}{R} \right)^2 \right)^{1/2}} \\ &\quad - GLm \cos Z \left( \frac{r}{R} \right)^2 \end{aligned}$$

donde m es la masa unitaria en P.



$\lambda$  = LONGITUD  
 $\Theta$  = COLATITUD  
 $\Delta$  = DECLINACION DE R

FIG. 4a).- ELEMENTOS QUE INTERVIENEN EN LA DEDUCCION DEL POTENCIAL DE MAREAS.



$$\cos Z = \cos \Delta \cos \Theta + \sin \Delta \sin \Theta \cos \omega$$

FIG. 4b).- DETERMINACION DE COS Z



El primer miembro del segundo término es el potencial de la atracción de la luna en P y el segundo el potencial de fuerza centrífuga debido a la rotación tierra-luna; Aquí  $r \ll R$ , por lo tanto el primer miembro puede ser expandido en potencias de  $(r/R)$ .

Entonces. para unos pocos de los infinitos términos:

$$\begin{aligned}
 P_m = & G M_m \left\{ (\cos Z/R) (r/R) + \right. \\
 & + (3/2) \left[ (\cos Z)^2 - (1/3) \right] (r/R)^3 \\
 & + \left[ (15/6) (\cos Z)^3 - 1 \right] (r/R)^4 + \dots \\
 & \left. - (\cos Z/R) (r/R) \right\}
 \end{aligned}$$

$$P_m \cong \dots \frac{3 G M_m}{2 R^3} \left( (\cos Z)^2 - 1/3 \right) \quad (1.18)$$

Ahora, si transcurre un tiempo  $t-t_0$  entre el paso por el PSL y el punto P, la luna se ha movido un (ángulo  $\alpha$ ,

$$\alpha = 2\pi(t-t_0)/T_1, \text{ donde } T_1 = 24 \text{ horas } 50.47 \text{ min.}$$

Por trigonometría esférica podemos demostrar

(figura 4b) que:

$$\cos Z = \cos \Delta \cos \theta + \text{sen } \Delta \text{ sen } \theta \cos \alpha$$

en forma general, si alguna longitud *varía* y  $\lambda$  incrementa hacia el ESTE, podemos poner:

$$\begin{aligned} \cos Z = \cos \Delta \cos \theta + \\ + \text{sen } \Delta \text{ sen } \theta \cos [(\lambda - \lambda_p) + \\ + 2\pi(t-t_0) / T_1 ] \end{aligned} \quad (1.19)$$

sustituyendo (1.19) en (1.18),  $P_m$  estará en función de  $\theta$ ,  $\lambda$ ,  $r$ , y  $t$  como deseabamos, obteniendo finalmente:

$$\begin{aligned} P_m = \frac{GmL3r^2}{2R^3} \{ (3/2) (\cos^2 \Delta - (1/3)) (\cos^2 \theta - (1/3)) \\ + (1/2) \text{Sen} 2\Delta \text{ Sen} 2\theta \cos [ \lambda - \lambda_p + (2\pi(t-t_0) / T_1 ) ] \\ + (1/2) \text{Sen} 2\Delta \text{ Sen} 2\theta \cos 2 [ \lambda - \lambda_p + (2\pi(t-t_0) / T_1 ) ] \\ + \text{cte.} \} \end{aligned} \quad (1.20)$$

Donde  $\Delta$  varia lentamente con el tiempo. El primer término es una variación lenta que depende de la **declinación** de la luna, teniendo un periodo de un mes lunar. El segundo

término tiene un periodo de un día lunar; el tercero cumple un ciclo en 12.25 horas. En realidad en estos elementos existen muchas más variaciones periódicas, siendo por tanto conveniente descomponer los términos  $\text{Cos}^2 \Delta$ ,  $\text{Sen}^2 A$  y  $\text{Sen}^2 \Delta$  que son variables en el tiempo, en series de Fourier. Debemos tener en cuenta además que la distancia R tampoco es constante y por tanto su variación también afectará al potencial de mareas.

Si hacemos la misma derivación del Pm para los efectos solares, tendremos entonces una expresión similar a la ecuación (1.20), la cual será también necesario descomponer en series de Fourier.

Los elementos del Pm serán entonces infinitos y la pregunta que ahora se nos viene a la mente es - ¿Son todos estos términos importantes en la producción de las mareas?... La respuesta es negativa, debido a la pequeñísima amplitud que estas constituyentes pueden tener y a extremadamente pequeñas diferencias en frecuencia angular entre ciertos grupos de componentes, lo cual hace que muchas veces sólo sean tomados en cuenta los elementos más



importantes de un grupo.

Hasta aquí llegaron científicos como Laplace (1775), Lord Kelvin (1875), Darwin (1883), etc. Hasta que Doodson (1921) observó que la frecuencia de cada una de las constituyentes era una combinación lineal de frecuencias fundamentales en los movimientos astronómicos del sistema sol-tierra-luna (tabla I). Entonces, la frecuencia de cada constituyente se puede obtener así:

BIBLIOTECA

$$W = i\omega e' + j\omega m + k\omega s + l\omega p + m\omega n + n\omega p_1$$

donde  $i\omega$ ,  $j\omega$ ,  $k\omega$ ,  $l\omega$ ,  $m\omega$ ,  $n\omega$ , son constantes.

Doodson estableció un sistema especial de numeración que asignaba a estas constantes, valores especiales (Neumann and Pearson, 1966), que son argumentos internacionalmente reconocidos, estableciéndose mediante ellos "SETS" de constituyentes que al tener un  $i\omega$  en común se denomina especie,  $unioyjo$  en común da lugar a un grupo, e  $i\omega$   $j\omega$   $k\omega$  determinan un subgrupo.

En definitiva, el potencial total, representa

**TABLA I**  
**FRECUENCIAS DE LOS PRINCIPALES MOVIMIENTOS ASTRONOMICOS DEL SISTEMA SOL-TIERRA-LUNA**

ORIGEN	w	VELOCIDAD ANGULAR		PERIODO
		o/ Hora	o/Dia	
ROTACION DE LA TIERRA	<b>We</b>	15.041069	360.9856918	0.997 DIAS*
UN DIA LUNAR	<b>We'</b>	14.492053	347.809272	1.035 DIAS**
UNA ALREDEDOR DE LA TIERRA	<b>Wm</b>	0.549016	13.176384	27.32 DIAS
TIERRA ALREDEDOR EL SOL	<b>Ws</b>	0.041069	0.985656	365.26 DIAS
ERIECIO LUNAR	<b>WP</b>	0.004642	0.111408	8.85 AROS
ODOS DE LA RBITA LUNAR	<b>Wn</b>	0.002206	0.052944	18.60 AROS
PRECESION DE LOS EQUINOCCIOS	<b>Wp1</b>	---	0.00004707	20940.0 AROS

\*  $We = (360 - 12 - 190704939) + 13.17634673 = 360.9856918$

\*\*  $We' = We - Wm = 14.492053$

SUELEN USARSE OTRAS COMBINACIONES COMO:

$We' + Wm - Ws = 360 \text{ }^{\circ}/\text{DIA}$

PERIODO DE UN DIA, TAL QUE LAS COMPONENTES DIURNAS Y SUS ARMONICOS DEBIDOS AL SOL, SURGEN CUANDO ESTA COMBINACION O MULTIPLOS DE ELLA OCURREN.

una sumatoria de dos potenciales ya identificados;

$$P_{mt} = P_{m1} + P_{ms} \quad (11.21)$$

que podría ser escrito de una forma mucho más general, como:

$$\begin{aligned}
 P_{mt} = & \sum_{l_0=0}^3 \{ G_{l_0}(\theta') \sum_{j_0 k_0 l_0 m_0 n_0}^{-l_0, +l_0} A_{l_0 j_0 k_0 l_0 m_0 n_0} * \\
 & * \cos(i_0 \omega_e t' + j_0 \omega_m + k_0 \omega_s + l_0 \omega_p + m_0 \omega_n + n_0 \omega_{p1}) + \\
 & + G'_{l_0}(\theta') \sum_{j_0 k_0 l_0 m_0 n_0}^{-l_0, +l_0} B_{l_0 j_0 k_0 l_0 m_0 n_0} * \\
 & * \sin(i_0 \omega_e t' + j_0 \omega_m + k_0 \omega_s + l_0 \omega_p + m_0 \omega_n + n_0 \omega_{p1}) \} \\
 & (1.22)
 \end{aligned}$$

Donde

$\theta' = 90 - \theta$       1    atitud del observador  
 $G_{l_0}$  y  $G'_{l_0}$       coeficientes geodésicos de  
Doodson  
A y B              amplitudes para una combina-  
ción dada de  $i_0 j_0 k_0 l_0 m_0 n_0$   
no, eliminándose así una de  
ellas.

En conclusión el potencial de mareas puede ser descompuesto en un gran número de ondas

constituyentes, teniendo cada una de ellas un nombre, una frecuencia característica y una amplitud astronómica; esto nos da una idea de la importancia relativa de cada componente con respecto a las demás, y no la amplitud en la marea misma, puesto que las constituyentes reaccionan de diferente manera ante factores externos que serán discutidos más adelante.

En mar abierto o en áreas cercanas a islas oceánicas las mareas pueden ser razonablemente descritas con las componentes teniendo las frecuencias acorde con la tabla II. Desafortunadamente esto es una excepción, puesto que efectos no lineales ocurren en aguas poco profundas y estuarios.

### 1.3. COMPORTAMIENTO DE LAS MAREAS EN ESTUARIOS Y CANALES

En aguas poco profundas, particularmente en estuarios y brazos de mar, las componentes de mareas sufren deformaciones de tipo hidrodinámico, capaces de enmascarar considerablemente el carácter regular de las mareas astronómicas. Afortunadamente, las deformaciones que se presentan pueden ser estudiadas como un grupo de constituyentes que se ha dado en llamar de bajo fondo (tabla III), las cuales no

TABLA I I  
 CONSTITUYENTES ASTRONOMICAS DE LAS MAREAS

Name	i	j	k	l	m	n	A x 10 <sup>5</sup>
S <sub>a</sub>	0	0	1	0	0	1	1.160
S <sub>a</sub> <sub>a</sub>	0	0	2	0	U	0	7.299
Mm	0	-2	0	-1	U	0	6.254
Mf	0	2	0	0	0	0	15.662
2Q <sub>1</sub>	1	-3	0	2	0	0	955
c <sub>1</sub>	1	-3	2	0	0	U	1.153
Q <sub>1</sub>	1	-2	0	1	0	0	7.216
F <sub>1</sub>	1	-2	2	-1	U	U	1.371
Q <sub>1</sub>	1	-1	0	0	0	U	37.689
r <sub>1</sub>	1	-1	2	0	U	0	491
M <sub>1</sub>	1	0	0	-1	0	0	1.065
N <sub>1</sub>	1	0	0	1	U	0	2.004
X <sub>1</sub>	1	0	2	-1	U	U	566
ψ <sub>1</sub>	1	1	-3	0	U	1	1.029
Γ <sub>1</sub>	1	1	-2	0	0	0	17.548
S <sub>1</sub>	1	1	-1	0	0	1	423
F <sub>1</sub>	1	1	0	0	0	0	53.050
ψ <sub>1</sub>	1	1	1	0	U	-1	423
ψ <sub>1</sub>	1	1	2	0	0	0	756
e <sub>1</sub>	1	2	-2	1	U	U	566
J <sub>1</sub>	1	2	0	-1	0	U	2.964
Q <sub>1</sub>	1	3	0	0	U	U	1.623
r <sub>2</sub>	2	-3	2	1	U	U	671
2N <sub>2</sub>	2	-2	0	2	U	U	2.301
ψ <sub>2</sub>	2	-2	2	0	0	U	2.777
H <sub>2</sub>	2	-1	0	1	0	0	17.387
H <sub>2</sub>	2	-1	2	-1	0	0	3.103
H <sub>2</sub>	2	0	0	0	U	U	90.812
J <sub>2</sub>	2	1	-2	1	U	0	670
L <sub>2</sub>	2	1	0	-1	0	0	2.561
T <sub>2</sub>	2	2	-3	0	0	1	2.469
S <sub>2</sub>	2	2	-2	0	0	0	42.350
R <sub>2</sub>	2	2	-1	0	0	-1	354
R <sub>2</sub>	2	2	0	0	0	0	11.506
ζ <sub>2</sub>	2	3	-2	1	0	0	643
r <sub>2</sub>	3	0	0	0	0	U	1.188

( D E ; TIDES, J.P.Th. Kalkwijk. INTERNATIONAL INSTITUTE FOR HYDRAULIC AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING, 1978)



TABLA III

CONSTITUYENTES DE BAJO FONDO DE LAS MAREAS

Name	i	j	k	l	m	n	same fre- quencies
$MU_1$	1	0	0	1	0	0	
$SU_1$	1	3	-2	0	0	0	
$PO_2$	2	-3	0	3	0	0	
$2MS_2$	2	-2	2	0	0	0	$\mu_2$
$OP_2$	2	0	-1	u	u	1	
$MS_2$	2	u	2	u	U	0	
$2MN_2$	2	1	0	-1	0	0	
$MSN_2$	2	2	-2	-1	0	U	$L_2$
$2SM_2$	2	3	-2	-1	U	U	$\zeta_2$
$M_3$	2	4	-4	0	U	0	
$S_3$	3	-1	0	0	0	0	
$MK_3$	3	1	-2	0	0	0	
$SF_3$	3	1	0	0	0	U	
$M_4$	3	3	-2	U	U	0	
$M_4$	4	-1	0	1	0	0	
$SN_4$	4	0	-2	1	0	0	
$MS_4$	4	2	-2	0	0	0	
$MK_4$	4	2	0	0	0	0	
$S_4$	4	4	-4	u	U	0	
$SK_4$	4	4	-2	u	0	0	
$2MN_6$	6	-1	0	1	U	0	
$M_6$	b	0	0	u	0	0	
$MSN_6$	6	1	-2	1	U	U	
$2MS_6$	6	2	-2	0	0	U	
$2MK_6$	6	2	0	u	0	0	
$2SM_6$	6	4	-4	0	0	0	
$MSK_6$	6	4	-4	U	0	u	
$3MN_8$	6	4	-2	0	0	0	
$M_8$	8	-1	0	1	0	0	
$2MSN_8$	8	1	-2	1	0	u	
$3MS_8$	8	1	-2	u	0	U	
$2(MS)_8$	8	4	-4	U	0	U	
$2MSK_8$	8	-4	-2	U	0	0	

(DE: J.P. Th. Kalicki. INTERNATIONAL INSTITUTE FOR HYDRAULIC AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING (1978).

tienen un caracter astronómico. Estas constantes son en realidad armónicas de las constantes principales, causados por fenómenos no lineales que toman lugar durante la propagación de las ondas de mareas; éstos pueden ser por ejemplo:

- a) Variación de los niveles de agua causado por "shoaling".
- b) Influencia de la fricción en el flujo. Normalmente la fricción es proporcional al cuadrado de la velocidad.
- c) Influencias no lineales debidas a flujos con relativa alta velocidad (términos de aceleración convectiva).
- d) Variación de la velocidad de la onda de mareas ocasionada por variaciones de profundidad.

Las oscilaciones existentes en canales y brazos de mar son generadas y mantenidas por la marea oceánica, siendo prácticamente despreciable la acción de las fuerzas astronómicas. De esta forma, para el estudio de mareas en canales, debemos tomar en consideración dos casos particulares, el primero es que el canal sea sin limite en la cabecera para

evitar reflexiones y el segundo, un estuario limitado pero con ciertas relaciones longitud-profundidad.

### 1.3.1. PRIMER CASO (ONDA PROGRESIVA).

Supongamos un canal de longitud infinita con profundidad  $h \gg y$ , donde  $y$  es la altura de la onda respecto al nivel medio. Entonces, asumiremos sin demostración que:

$$v = V_0 y/h \quad \text{donde} \quad V_0 = \sqrt{gh} \quad (1.23)$$

$V$  = velocidad de propagación de la onda en el canal.

$V_0$  = velocidad oceánica de la onda.

Podemos concluir de (1.23) que la corriente es máxima positiva (flujo) en pleamar, nula en el nivel medio y máxima negativa (reflujo) en la bajamar (fig. 5a).

Para el caso de un canal en que  $h$  sea comparable con  $y$ ;

$$v = V_0 ( 1 + 3y/2h - 3y^2/8h^2 \dots ) \quad (1.24)$$

De esto se puede comprobar facilmente que en la cresta de la onda la velocidad de propaga-

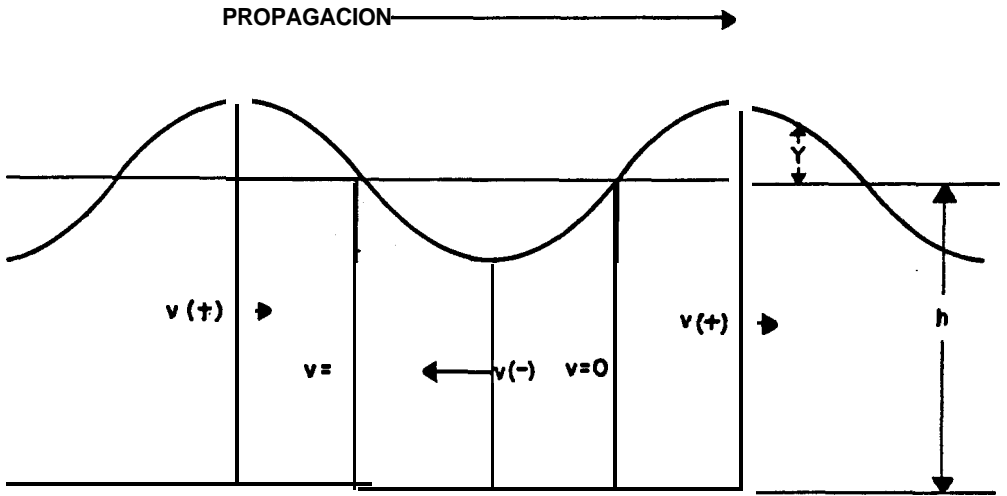


FIG. 5a).- FORMA DE LA ONDA DE MAREA Y DISTRIBUCION DE LA CORRIENTE EN LA DIRECCION DE LA PROPAGACION.

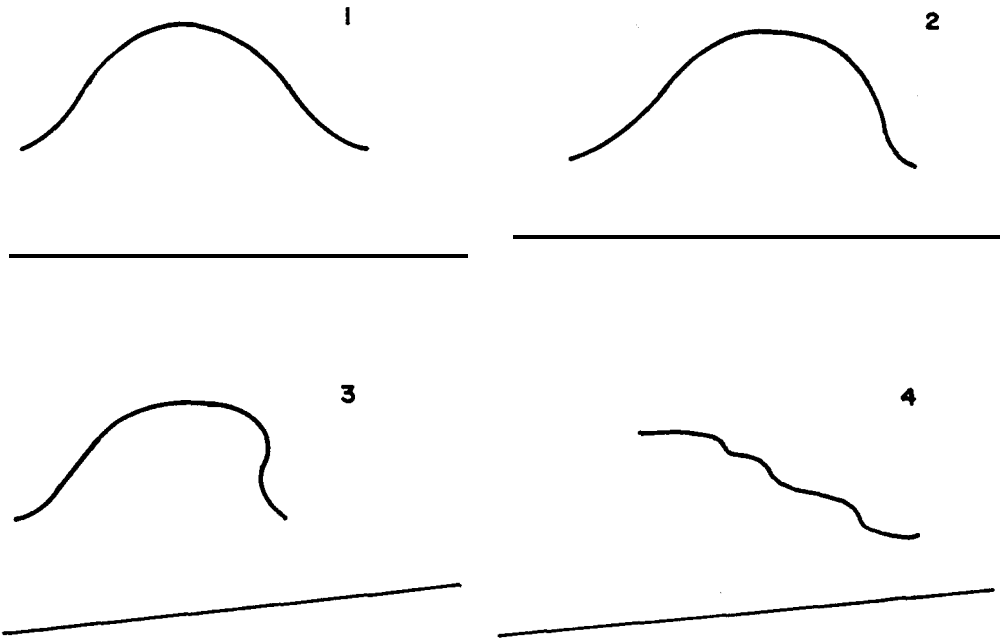


FIG. 5b).- ROMPIMIENTO DE LA ONDA DE MAREA EN AGUAS POCO PROFUNDAS.

ción es máxima, en tanto que en el seno es mínima. Esas condiciones para un punto cualquiera de un canal, donde penetra una onda progresiva, determinan que la pleamar sea anticipada y la bajamar retrasada, esto es, la duración del flujo será menor a la del refl ujo, Es decir que habrá una distorsión temporal y espacial del perfil, puesto que al viajar las crestas más rápido que los senos, las ondas incrementaran su altura mientras mas vayan hacia dentro del canal, pudiendo llegar a romper en forma de bores de marea (fig. 5b).

### 1.3.2. SEGUNDO CASO (ONDA ESTACIONARIA)

Una característica especial en canales, es el aumento del rango de mareas en la cabecera en comparaciñ con la boca del mismo, este fenómeno puede deberse a varias causas:

- a) La existencia de una onda estacionaria en el canal.
- b) La distorsión espacial del perfil de mareas.

c) Conservación de volumen: se puede producir un aumento en la amplitud debido a la convergencia del canal.

Si estas, se ven influenciadas además por condiciones meteorológicas tales como baja presión, vientos fuertes hacia la cabecera, lluvia, etc., los rangos de mareas serán particularmente altos, en especial en las mareas de sicigia.

Es por todos conocido que los cuerpos tienen una frecuencia natural de oscilación dada por sus características morfológicas, entrando estos en resonancia cuando son sometidos a esa frecuencia. Análogamente, los cuerpos de agua y particularmente los canales y estuarios, tienen también su periodo natural de oscilación relacionado a una onda fundamental, la cual será cuatro veces superior a la longitud del canal (fig. 6a).

Luego, el periodo será:

$$T = 4L/\sqrt{gh} \quad (1.25)$$

Donde:

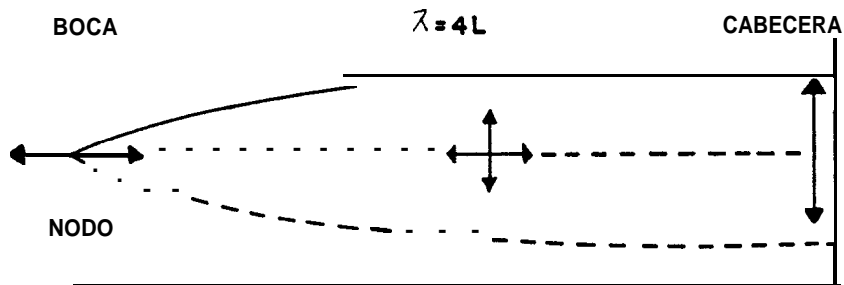


FIG. 6a).- ONDA ESTACIONARIA EN EL ESTUARIO

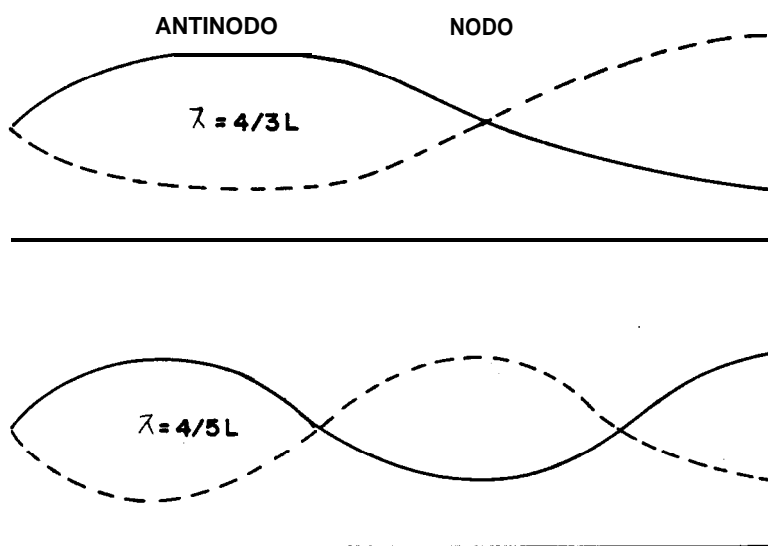


FIG. 6b).- ARMONICOS DE LA ONDA FUNDAMENTAL

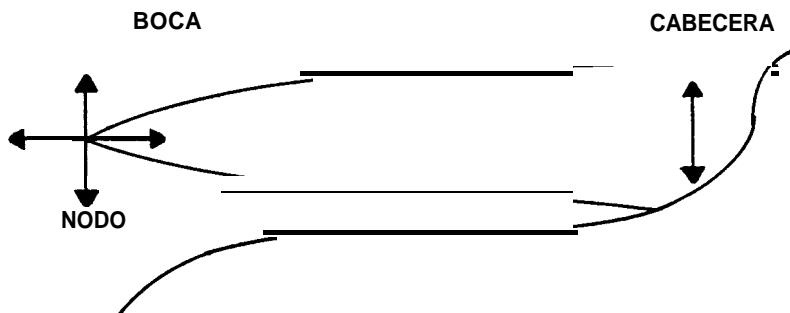


FIG. 6c).- CASO REAL. NODO FUERA DE LA BOCA DEL ESTUARIO.

L = longitud del canal

h = profundidad del canal

ES decir que una onda de  $\lambda = 4L$  y periodo T, entrará en oscilación en tal cuerpo de agua. En realidad esto se hace extensivo a las armónicas de la onda fundamental (fig. 6b) y por lo tanto habrá resonancia para  $\lambda = 4L, 4L/3, 4L/5, 4L/7, 4L/9, \dots$ , lo cual implica que componentes de periodos inferiores a la semidiurna, tales como las constituyentes de bajo fondo, pueden en algún momento dado entrar en resonancia debido a la acumulación de energía en esos periodos.

Cabe hacer ahora una aclaración. En la figura 6a, observamos que el nodo de la onda estacionaria ocurre en la boca del estuario, pero esto no sucede verdaderamente en la naturaleza, ya que de ser así, existirían muchos puntos de anfidromia, lo cual no es cierto. En realidad el punto nodal se encuentra un poco hacia afuera de la boca, por lo cual se encuentra también sometido a la subida y bajada de la marea oceánica, como se observa en la figura 6c.



#### 1.4. PREDICCIÓN DE MAREAS

La marea de equilibrio (es decir aquella debida a las fuerzas generadoras de las mareas, según la teoría del equilibrio) como es observada en Greenwich, forma la base de la predicción de la marea alrededor del mundo:

$$h = h_0 + \sum f H \cos(W t + V + u) \quad (1.26)$$

donde:

W = velocidad angular de la componente como se definió en 1.2.1.

h = marea horizontal o vertical.

h<sub>0</sub> = valor medio (nivel o flujo).

H = amplitud (realmente semi-amplitud) astronómica de la componente (en cms.).

t = GMT

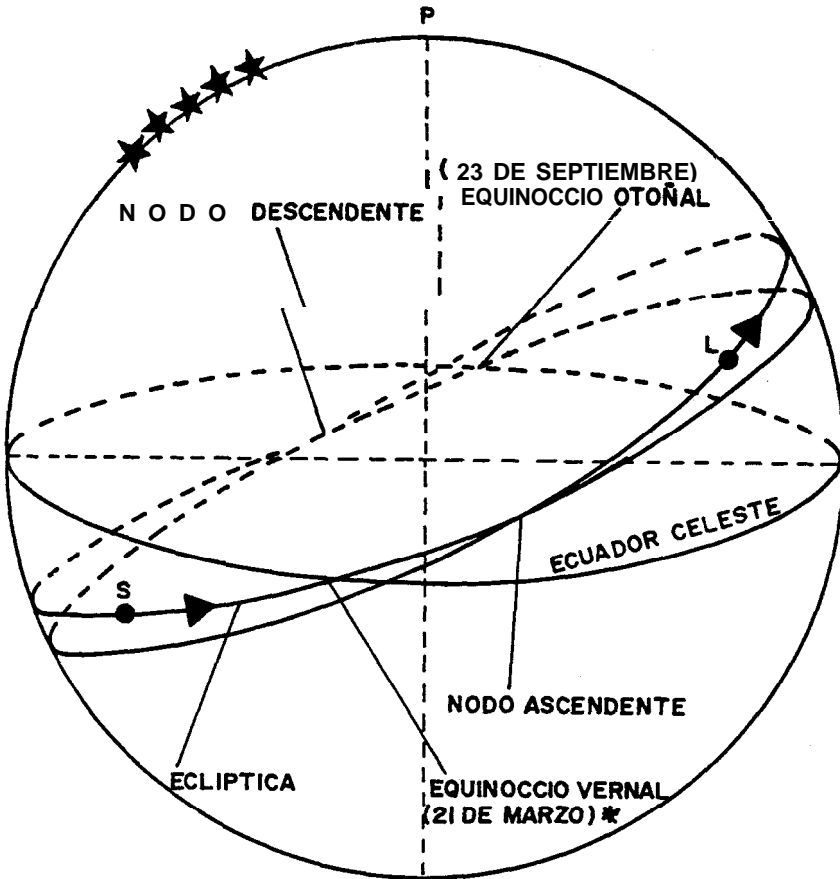
v + u = argumento astronómico (de la marea estática)

V = elemento que varia uniformemente, donde cada día comienza con t=0.

f, u = corrección para la posición de los nodos.

Fig. 7 .

Sin embargo, no siempre el punto de interés se encuentra en Greenwich. La expresión de equilibrio para otro lugar, pero referido al meridiano de



\* EQUINOCCIO VERNAL : PUNTO DE REFERENCIA PARA LA DESCRIPCION DE LOS MOVIMIENTOS DE LOS CUERPOS CELESTES.

FIG. 7.- ORBITAS DE LA LUNA Y EL SOL PROYECTADOS EN LA ESFERA CELESTE.

Greenwich será:

$$h = h_0 + \sum^m f H \cos(W t + (V + u) - g)$$

donde  $g$  es una corrección en grados, para el lugar de interés. Se puede decir que es un retraso de la pleamar real con respecto a la estática.

Si a  $g$  se le hacen correcciones adicionales, se podrán realizar las predicciones con la hora propia del lugar, es decir referidos al huso horario de la zona de interés y no de Greenwich. En tal caso,  $g$  será sustituido por  $G$  y se llamará situación.

Entonces la ecuación definitiva será:

$$h = h_0 + \sum^m f H \cos(W t + (V + u) - G) \quad (1.27)$$

$H$  y  $G$  son las llamadas constantes armónicas, las cuales son obtenidas de la observación real y son consideradas invariables y propias de cada lugar. Estas pueden ser calculadas por métodos tales como el análisis armónico, (no a ser tratado aquí debido a la extensa bibliografía existente al respecto).  $f$  y  $u$  son consideradas constantes durante un año y son derivadas del movimiento astronómico.

## C A P I T U L O   I I

### OBTEENCION Y ANALISIS DE LA INFORMACION MAREOGRAFICA

Para el normal desarrollo de las investigaciones oceanográficas, la obtención de información in situ es indispensable; sin embargo el esfuerzo y los costos que esto demanda, hace muchas veces imposible la realización de tales investigaciones, sobre todo cuando no se cuenta con la infraestructura suficiente. La investigación mareológica, no es la excepción.

La información que fue utilizada para la realización de este trabajo, es fruto del esfuerzo no sólo del autor, si no también del personal de la Sección Mareas del INOCAR, y sólo pudo ser obtenida gracias a la extensa red mareográfica de esta institución.

El presente capítulo tratará acerca de los procedimientos seguidos por el autor y de la experiencia adquirida por él, en la Sección Mareas, en los años 1984 Y 1985, en lo referente a la obtención, optimización y análisis de información mareográfica. Los procedimientos que se mencionarán aquí, son rutinarios en cualquier Sección de

Mareología de las instituciones oceanográficas.

### 3.1. INSTRUMENTOS UTILIZADOS. INSTALACION

Para medir alturas de mareas hay dos clases de instrumentos; sin registro (mareómetros) y con registro automático (mareógrafos).

Los mareómetros pueden tener muchas variaciones, pero en este trabajo se mencionará solamente como tal a la regla de mareas. Esta es de fácil fabricación e instalación y para su lectura requiere de la observación directa.

Los mareógrafos no requieren de la observación visual permanente, gracias a sus mecanismos de auto-registro.

#### 2.1.1. LA REGLA DE MAREAS

La regla de mareas es una regla de madera de longitud variable, graduada cada 10 y 1 cm. o cada pie y décimos de pie.

Generalmente para su instalación se aprovechan facilidades tales como muelles, rocas, pilotes, etc. Muchas veces se colocan reglar,

en boyas especiales o se las instala oblicuas si ermpre y cuando se conozca su ángulo de inclinación, para hacer luego las correcciones necesarias. Cuando la amplitud de marea es grande y la zona de estudio es muy escarpada, se puede recurrir a un sistema de reglas debidamente relacionadas (Fig.8).

Cuando se instala una regla de mareas es muy importante tener en cuenta las siguientes observaciones:

- La regla no debe quedar nunca bajo ni sobre el agua. Debe tenerse por tanto una idea aproximada de la amplitud de la marea antes de la instalación, para dejar rangos de seguridad.
- Debe ser de fácil acceso y visibilidad.
- Debe estar completamente asegurada.
- Un mantenimiento adecuado ha de ser previsto, puesto que los organismos marinos y el agua la pueden destruir.

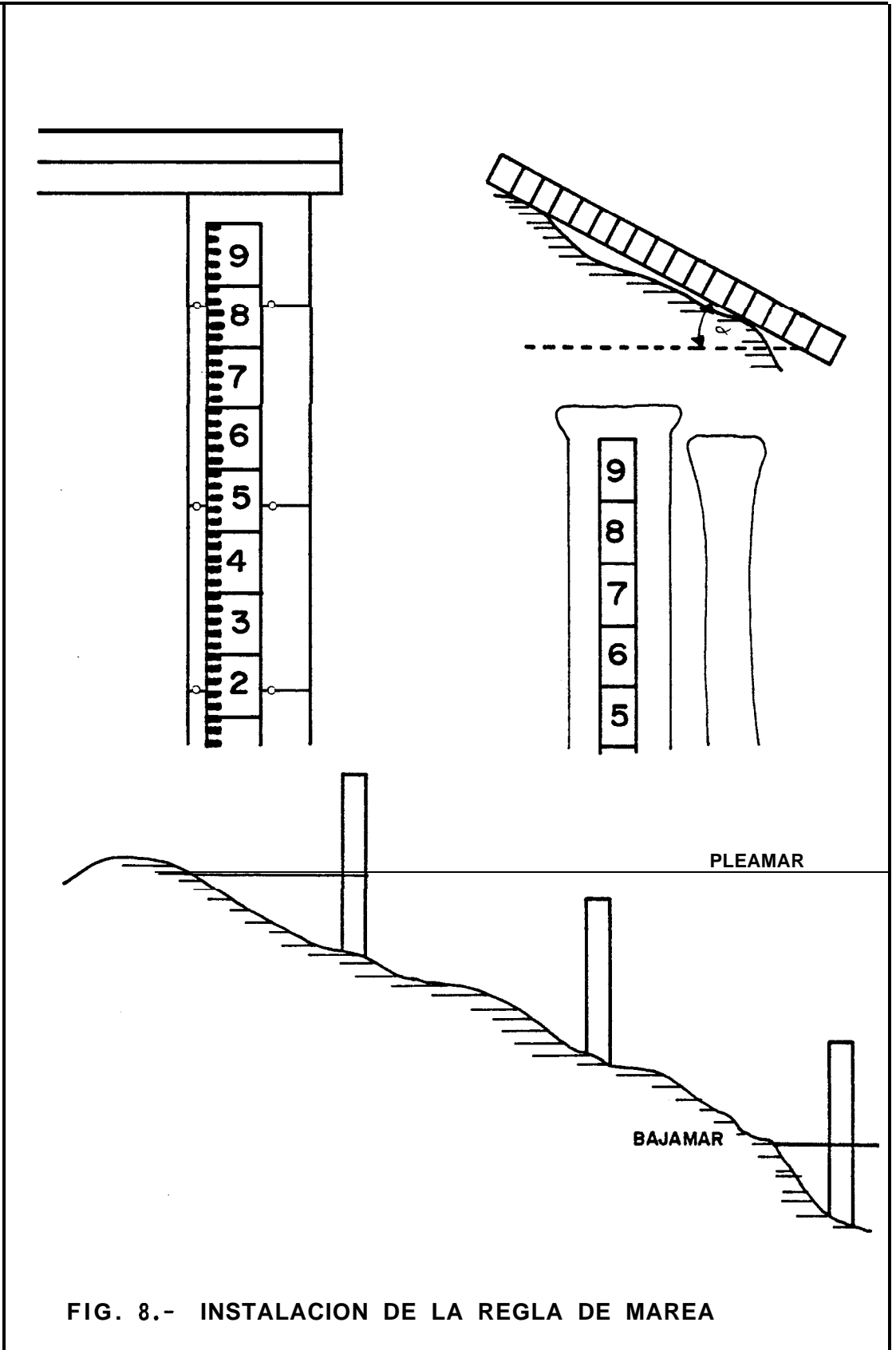


FIG. 8.- INSTALACION DE LA REGLA DE MAREA

### 2.1.2. EL MAREOGRAFO

Mencionaremos las características de cada uno de los mareógrafos de los cuales se obtuvo la información básica que se empleó en el desarrollo de este trabajo, indicándose en la tabla IV el porcentaje estimado de la información utilizada de cada uno de ellos.

Mareógrafo automático standar: es el mareógrafo tradicional y el que más información ha provisto, siendo además uno de los más exactos. Básicamente consta de un flotador dentro de un tubo fijo por el cual sube o baja el nivel del agua. El flotador comunica entonces el movimiento a un rollo que se mueve temporariamente gracias a un mecanismo de relojería (dos relojes). En un instrumento netamente mecánico y consta de cierto número de poleas que lo hacen un tanto incómodo.

Para su instalación se construye primero una caseta (caseta mareográfica) que esté directamente sobre el agua, en ella habrá un agujero en el cual se colocará el tubo del flotador, siendo preferible que este se asiente en el fondo, procediéndose así a





TABLA IV

PORCENTAJE ESTIMADO DE LA INFORMACION PROVENIENTE DE CADA MAREOGRAFO

OBJETIVO	MAREOGRAFOS USADOS	%
VARIACION DE LOS NIVELES DE REFERENCIA Y ANALISIS DE TENDENCIA	AUTOM. PORT.	95
	PRESION	5
ANALISIS DE AMPLITUDES Y FASES	AUTOM. PORT.	52
	PRESION	33
	BARICO	11
CONSTRUCCION DE CARTAS COTIDIALES	AUTOM. PORT.	43
	PRESION	32
	AUTOM. STD.	14
	BARICO	7
COMPARACION ENTRE MAREAS OBSERVADAS Y MAREAS PREDICHAS	PRESION	61
	AUTOM. PORT.	39
EFECTO DE LAS DESCARGAS DE LOS RIOS DAULE Y BABAHYO SOBRE LAS MAREAS DEL SISTEMA	AUTOM. PORT.	90
	PRESION	10

colocar el mareógrafo sobre una mesa, conectándosele seguidamente al flotador que es introducido en el tubo y al juego de poleas que permiten el movimiento ascendente del flotador y la regulación de la amplitud en el registro (fig.9).

Mareógrafo automático portátil 1: es mas fácil de instalar y transportar que el mareógrafo standar. Es menos pesado debido a que solo consta de una polea y un reloj, lo que hace no necesaria la construcción de una caseta en mediciones de corto periodo. Los registros se obtienen en pliegos o en rollos dependiendo del instrumento.

Mareógrafo bórico (o de burbujas): este mareógrafo ha demostrado ser seguro en sus datos, aun que es un poco incómodo debido a sus componentes y a complicaciones en la colocación del papel de registro. Su funcionamiento está basado en la acción de la presión de la columna de agua sobre un sensor, el cual contiene burbujas de nitrógeno que al ser presionadas actúan sobre un fuelle transductor que acciona el estilete que marca la onda de marea. Consta también de un meca-

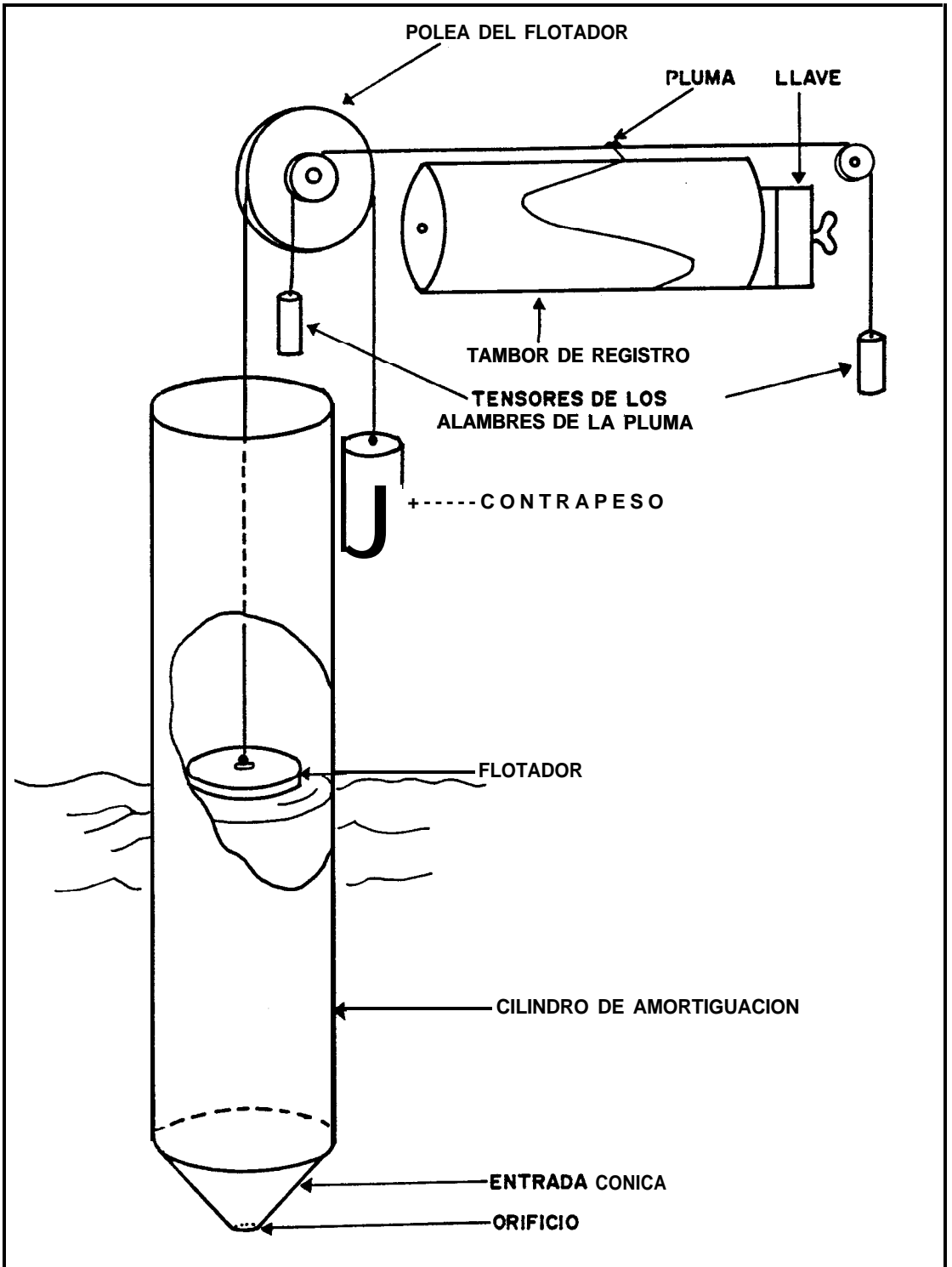


FIG. 9.- MAREOGRAFO BASICO  
(MANUAL DE MEDICION E INTERPRETACION DEL -  
NIVEL DEL MAR C.O.I. MANUALES Y GUIAS No.14

nismo de relojería y de un tanque de gas ni trógeno con SU respectivo regulador de presión (fig.10).

Errores en los registros de estos últimos pueden presentarse debido a pérdidas de presión, razón por la cual hay que hacer cambios paulatinos del tanque de gas, por lo que se hace conveniente tener un tanque de reserva en la estación.

Mareógrafo de presión: también basa su funcionamiento en los cambios de presión originados por el ascenso o descenso de la marea.

Quizás éste sea el registrador de mareas mas fácil de instalar debido a su manualidad. El sensor de presión solo consta de un blieris de caucho con aire en su interior' el mismo que al ser presionado acciona los mecanismos que mueven el estilete. Para su instalación solo se requiere de alguna estructura donde asentar el registrador y sujetar el tubo conductor de aire. Primeramente se llena el blieris y el tubo con un poco de aire, luego el otro extremo es ajustado en el mareógrafo,

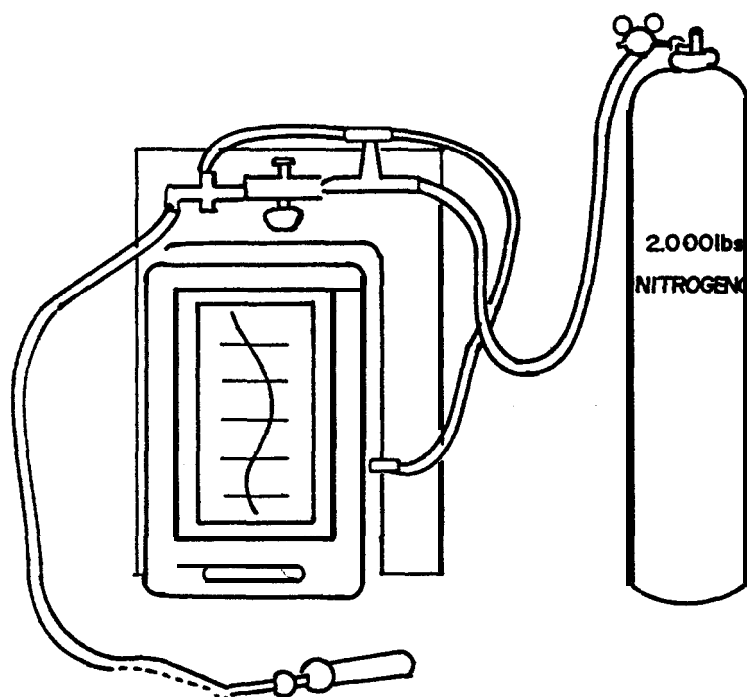


FIG. 10.- MAREOGRAFO BARICO

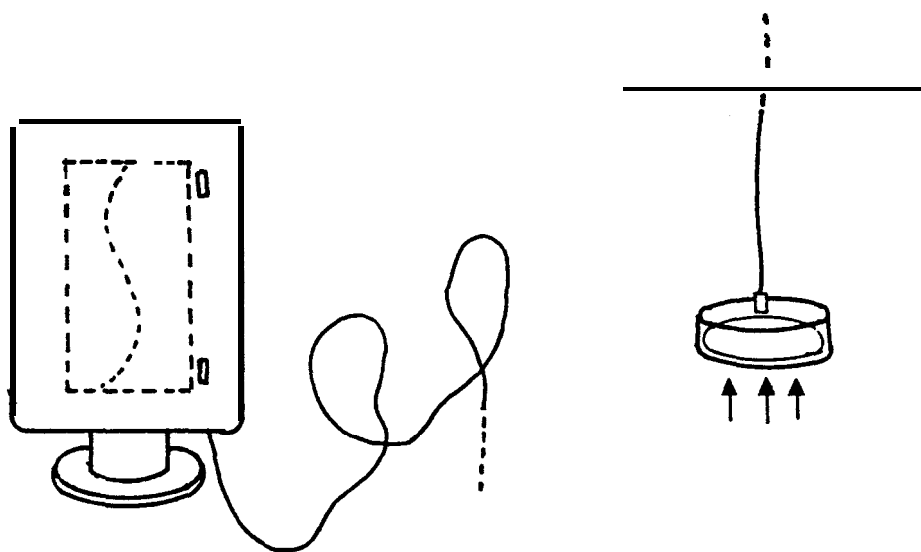
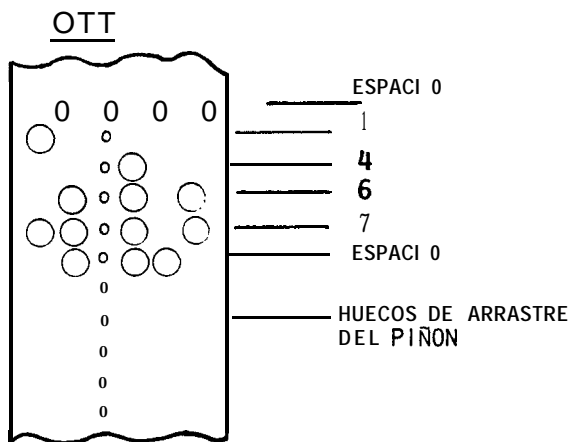


FIG. II.- MAREOGRAFO DE PRESION

se introduce entonces el sensor en el agua e inmediatamente se mueve el estilete marcador si existe la presión suficiente. Luego con movimientos verticales del sensor se estima la ubicación *ideal* del mismo para que la curva graficada ocupe siempre un espacio en el registro. Adicionalmente se agrega presión al sistema con una bomba de mano hasta que la altura indicada en el registro coincida con la leída en la regla (fig.11).

Mareógrafo analógico-digital: es uno de los mas modernos y su aspecto es similar al de un mareógrafo automático portátil. Consta de una polea con contrapeso, sistema de relojería, etc. El registro se obtiene por perforación de una cinta, la cual puede ser leída directamente o por medio de un computador, que procesa la información. Otra de sus ventajas es que puede implementarse para enviar información a distancia, vía satélite. Una desventaja es que no ofrece información continua sino discreta debido a que las perforaciones son realizadas cada 3, 6, 12 o 15 minutos (fig. 12). Este tipo de mareógrafo, no fue utilizado en la obtención de información, para la realización de esta tesis.



LA ALTURA PERFORADA ES 1,467 METROS

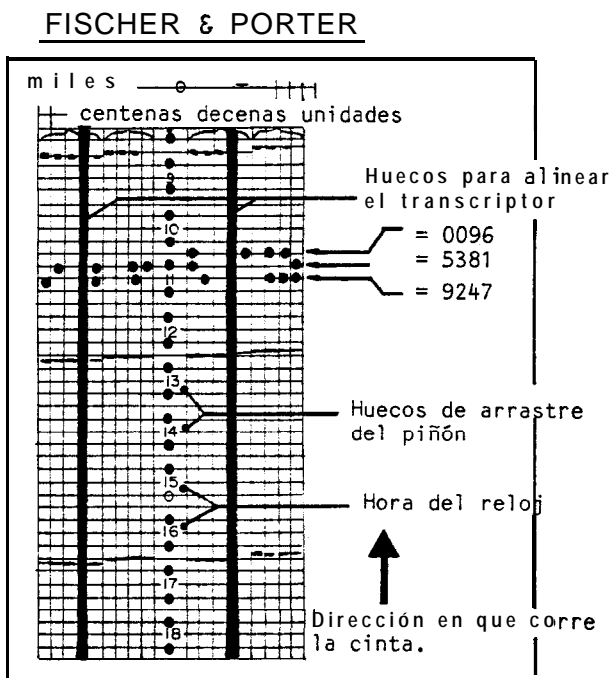


FIG. 12.- REGISTROS DE CINTAS PERFORADAS PARA MAREOGRAFOS ANALOGICO-DIGITALES

(MANUAL DE MEDICION E INTERPRETACION DEL NIVEL DEL MAR. C.O.I. MANUALES Y GUIAS No. 14).

Cabe mencionar que adicionalmente a los nombrados, existen mareógrafos muy sofisticados que son instalados especialmente en mar abierto y zonas de 'plataforma, para el estudio del nivel medio del mar (UNESCO, 1975). Estos mareógrafos pertenecen a agencias internacionales de investigación, y no son utilizados en el país.

## 2.2. LA ESTACION MAREOGRAFICA: SELECCION DEL SITIO Y COMPONENTES DE LA ESTACION.

Una estación mareográfica es aquella que se instala con el fin de medir las variaciones ocasionadas por las mareas (con respecto al tiempo) en el nivel de el agua de mares, estuarios, etc.

Estas, dependiendo del periodo y tipo de información requerida, basicamente son:

- Estación mareográfica principal, primaria o de control.
- Estación mareográfica secundaria o temporal.

Estación mareográfica principal: Estas obtienen registros de largo periodo y su información será de



uso presente y futuro para una determinada calidad, lo que hace su mantenimiento y adecuación indispensable. Los valores obtenidos de esta información son generalmente "alturas referenciales" que le dan al sitio de medición, la categoría de "puerto patrón", cuando la información proporcionada sobrepasa los 19 años. En el desarrollo de esta tesis, fueron utilizadas las estaciones principales de Puerto Marítimo, Guayaquí 1 (Río Guayas), Posorja, Puná, Puerto Bolívar, y el puerto patrón de La Libertad.

Estación mareográfica secundaria: Son instaladas por cortos periodos, con diversidad de objetivos. Están frecuentemente relacionadas a una estación principal por medio del transporte del nivel de reducción, por comparaciones simultaneas o por el análisis de cartas cotidales. Deberá tener por lo menos, una observación de pleamar y una de bajamar, prolongandose por lo general menos de un año. El objetivo principal de estas será los estudios hidrográficos. Una estación secundaria, no proporciona en la mayoría de los casos la información suficiente para determinar 105 diferentes niveles de las mareas, pero si se compara con una estación principal cercana, se pueden obtener datos muy aproximados, razón por la cual, los valores obtenidos en las estaciones



BIBLIOTECA

secundarias y principales deben ser siempre correlacionados con los obtenidos en puertos patrón.

Algunas estaciones secundarias fueron utilizadas en el desarrollo de este trabajo (Ver Cap. III).

#### 2.2.1. SELECCION DEL SITIO DE INSTALACION

La selección de un lugar adecuado para la instalación de una estación de mareas, depende de su objetivo.

Las estaciones principales tienen como fin primario. el establecer los niveles de referencia necesarios para el levantamiento de las cartas topográficas de una región o país.

Uno de los valores más usados es el "Nivel Medio del Mar", razón por la cual una estación que tenga este objetivo deberá estar ubicada en una costa totalmente abierta al océano, o en su defecto en una bahía amplia o muy expuesta. En este caso, el lugar ideal de instalación, será un muelle como el de la estación mareográfica de La Libertad, que es la estación patrón en el país.

Por ninguna razón una estación de este tipo y

objetivo deberá ser instalada en las cercanías a la desembocadura de un río, en un estrecho o en un lugar separado de mar abierto por una barra litoral, pues, el efecto de las bajas profundidades sobre las mareas puede ser muy grande, y por tanto los datos obtenidos no serán verdaderamente representativos del área. Un lugar muy frecuentado (mucho tráfico o turismo) puede resultar poco efectivo, puesto que debido a eso suelen ocurrir accidentes, especialmente con la regla de mareas, la cual puede desprenderse. En un río (ej. río Guayas) también puede haber una estación principal, pero el valor medio obtenido será el "nivel medio del río" el cual lógicamente, estará a una mayor altura respecto al NM conforme la estación esté más lejos de la costa.

Cuando se realiza un levantamiento hidrográfico, las profundidades deberán ser reducidas al nivel de bajamares de sicigia, lo cual implica la necesidad de una estación principal; sin embargo, éstas muchas veces no están muy cercanas a la zona de estudio, por lo que se hace necesario instalar estaciones secundarias.

Las estaciones secundarias, podrán ser instaladas en ríos, estrechos, canales, lugares cerrados, mar abierto, etc. dependiendo de los requerimientos técnicos, y deberán estar tan cerca una de otra de acuerdo a las variaciones de las mareas en el lugar deseado. Es decir que antes de ubicar las estaciones será necesario un estudio preliminar del comportamiento de la marea en el área, lo cual indicará que tan cerca debe estar una estación de otra. Puede darse el caso por ejemplo; que un estrecho comunique dos masas de agua con fuertes diferencias tanto en fase como en amplitud de marea, ocasionando entonces dificultades en la reducción de sondeos. Será prioritario en tal caso, instalar dos estaciones muy cercanas, para poder realizar adecuadamente el trabajo (Ej: Las Esclusas).

#### 2.2.2. COMPONENTES DE LA ESTACION MAREOGRAFICA

Es procedente a esta altura incluir los componentes de que consta cada uno de los tipos de estaciones revisadas anteriormente; esto se resume en la tabla V. Puede observarse en tal tabla que el elemento indispensable en una estación mareográfica será siempre la

**TABLA V  
COMPONENTES DE LA ESTACION MAREOGRAFICA**

TIPO	PERIODO	COMPONENTES	OBSERVACIONES
<b>E S T A C I O N</b>  <b>P R I N C I P A L</b>	<b>VARIOS AÑOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- RECLA DE MAREAS</li> <li>- MAREOCRAFO (S)</li> <li>- TUBO PARA EL FLOTADOR</li> <li>- CASETA MAREOCRAFICA</li> <li>- PAPELERIA</li> <li>- ADICIONALES*, TERMOMETRO, ANEMOMETRO, BAROMETRO, ETC.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- MAREOCRAFOS RECOMENDADOS: MAREOCRAFO STANDARD Y ANALOCICO DIGITAL.</li> <li>- EL TUBO DEL FLOTADOR, ELIMINA LAS OSCILACIONES DE CORTO PERIODO, SIN FILTRAR LAS DE PERIODOS INTER-MEDIOS (TSUNAMIS, SEICHES, ETC).</li> </ul>
	<b>PATRON</b>  >19 AROS		
<b>E S T A C I O N</b>  <b>S E C U N D A R I A</b>	<b>HORAS O POCOS DIAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- REGLA DE MAREAS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- DEBERA SER LEIDA CADA 5-10 MINUTOS EN ESTUARIOS - DONDE EXISTA INFLUENCIA MARITIMA Y FLUVIAL. CADA 25 MINUTOS EN UN LUGAR EXPUESTO AL MAR</li> </ul>
	<b>MESES HASTA 1 AÑO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- REGLA DE MAREAS</li> <li>- MAREOCRAFO</li> <li>- CASETA PEQUEÑA</li> <li>(- TUBO DEL FLOTADOR)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- MAREOCRAFOS RECOMENDADOS: AUTOMATICO, PORTATIL Y DE PRESION.</li> </ul>

**\*ELEMENTOS ADICIONALES QUE SIRVEN PARA MEDIR PARAMETROS FISICO-METEDROLOGICOS QUE PERMITEN JUSTIFICAR VARIACIONES ANOMALAS EN LOS REGISTROS.**

regla de mareas. Sin embargo cuando las observaciones requeridas sean de un período un poco largo, se necesitará además la ayuda de un mareógrafo, pues de otro modo las lecturas serían muy tediosas.

## 2.3. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION MAREOGRAFICA

El procesamiento de la información mareográfica, es una rutina común a toda Sección de Mareología, y consiste de la optimización de los registros (corrección de errores, extrapolaciones e interpolaciones) y la lectura de los mismos para llenar los formularios que servirán de base para calcular los valores armónicos y no armónicos de las mareas. Toda la información utilizada aquí, tuvo ese tratamiento previo.

Cuando el analista lee los rollos de mareas o investiga en los datos por estos proporcionados, puede encontrarse con variaciones no esperadas en los valores de los niveles referenciales, estas variaciones estarán relacionadas a causas naturales (tales como: presión, esfuerzo del viento, etc.), fallas instrumentales y/o falla humana.

Para obviar o solucionar estos problemas, es reco-

mendable realizar visitas diarias a las estaciones de mareas (inspecciones mareográficas), de tal manera que se pueda llevar un control del funcionamiento adecuado de cada estación. Sin embargo, cuando ésta se encuentra en un lugar no muy accesible, las inspecciones no podrán ser hechas a diario. entonces es una buena práctica realizar inspecciones semanales o en su defecto cada dos semanas.

La persona encargada de esta actividad es el "inspector de mareas" el cual tiene las siguientes obligaciones:

- Determinar la hora exacta y leer la altura correcta en la regla de mareas, para hacer las lecturas comparativas con los valores correspondientes suministrados por el rollo.
- Corregir los errores que encontrare, reiniciando el registro a la hora y altura correctas (AR: altura real, HR: hora real, AM: altura del mareógrafo, HM: hora del mareógrafo - se anotan directamente en el registro) .
- Cambio de rollo si es necesario.

Adicionalmente a esto, se hace una revisión general

de la instalación y en especial de la posición correcta de la regla. Se hacen además inspecciones semestrales mas completas.



### 2.3.1. PRINCIPALES FUENTES DE ERROR Y METODOS DE CORRECCION

Teniendo en cuenta que la información de mareas es generalmente de largo periodo? en especial en estaciones mareográficas principales, resulta obvio o suponer entonces, que los registros deben ser cambiados permanentemente (en las inspecciones mareográficas). Esto origina interrupciones momentáneas en los instrumentos, lo que ocasiona errores en altura y tiempo. Estos errores son generalmente pequeños, y variables de instrumento a instrumento, de acuerdo al tamaño y escala de los registros, y a la apreciación del inspector. Sin embargo errores pequeños pueden ser importantes, en especial cuando se trata de estudiar las constantes no armónicas, entre ellas, el nivel medio del mar (NM), en cuyo caso, pequeñas anomalías en cms. con respecto a las condiciones normales, pueden ser tomadas como indicios de la presencia de un fenómeno oceánico.



Otras fuentes de errores están dadas por fallas instrumentales o de calibración. Adelantos o retrasos de los mecanismos de relojería de los mareógrafos, dan como resultado un aumento o disminución en la velocidad de paso del papel, lo que afecta a las lecturas.

En los mareógrafos que usan sensores de presión, si ésta se pierde por escape de aire o algún otro motivo. las curvas van a ser cortadas en las pleamares? ocasionando un error cada vez mayor. Entonces deben hacerse correcciones en las curvas de marea y aplicarse presión (con una bomba de mano) al mareógrafo.

Es muy importante también, tener constancia de las nivelaciones que se hagan por motivo de cambio de las reglas a una nueva posición, pues de esto depende básicamente la continuidad de la serie de tiempo; si esto no se hace, surgirán con el tiempo, diferencias muy apreciables que no podrán ser corregidas. Lo ideal es tener monografías (carpeta con toda la información referente a la posición de la estación de mareas, sus nivelaciones y valores no armónicos) adecuada y cronológica-

mente archivadas de cada uno de los puertos, esto permite al investigador hacer las reducciones necesarias de la información existente, para darle así continuidad y poder de esta manera utilizarla en estudios de circulación, sedimentación y otros basados en análisis de tendencias de las constantes armónicas principales.

De manera general , se han enunciado aquí, las causas más comunes de errores encontrados por el autor, en el análisis de los registros mareográficos utilizados; en todo caso no se han mencionado todas las posibles fuentes, pues estas son múltiples, e igual la manera de solucionarlas, lo que muchas veces depende del criterio del investigador y de la experiencia que éste tenga. Sin embargo, a continuación se exponen brevemente Los métodos a seguir en la corrección de errores que son rutinarios en los registros de mareas:

a. Correcciones en al tura: Los errores en altura son generalmente constantes entre inspecciones consecutivas, si endo usualmente introducidos en los registros en forma de pliego. Para su corrección, se

suma algebraicamente el valor del error a los datos del mareograma (fig. 13a).

Pueden producirse también errores de este tipo cuando el registro está mal colocado y se observa una tendencia o inclinación del mareograma, en cuyo caso las correcciones no serán constantes sino acumulativas (fig. 13b).

- b. Correcciones en tiempo: Estos son generalmente acumulativos entre inspecciones, y son debidos a fallas en los mecanismos de relojería de los instrumentos o a errores de manejo. Estos errores están dados por adelantos o retrasos de la curva de marea y su forma de corrección varía, según se trate de alturas horarias o de pleamares y bajamares (vease tabulación).

Se analiza ahora, el caso de un retraso del registro (fig. 14).

Corrección para las lecturas b e alturas.....  
horarias.

Como el error es acumulativo, se debe obser-

ERRORES EN ALTURA.

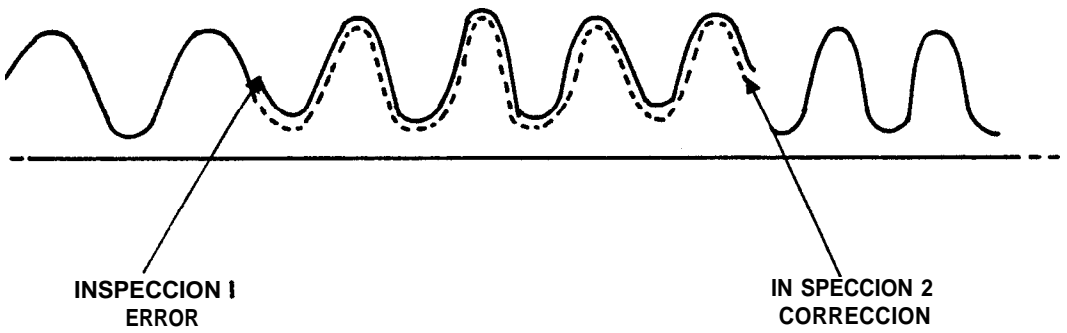


FIG. 13a).- ERROR CONSTANTE

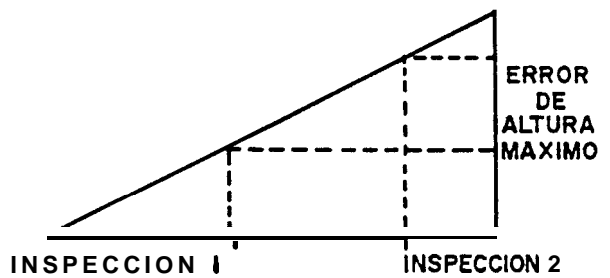
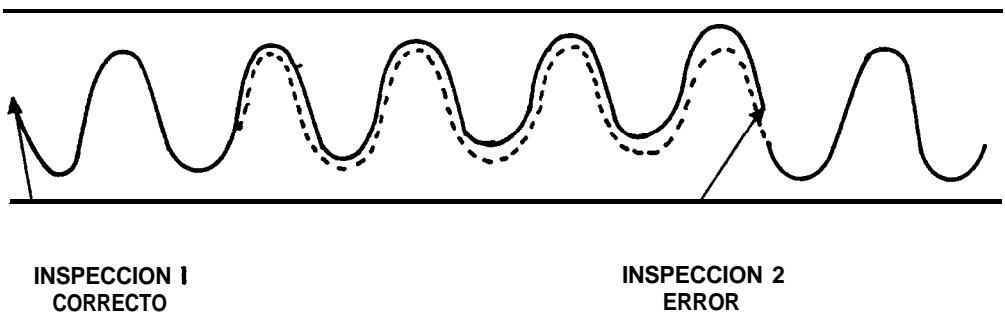


FIG. 13b).- ERROR ACUMULATIVO

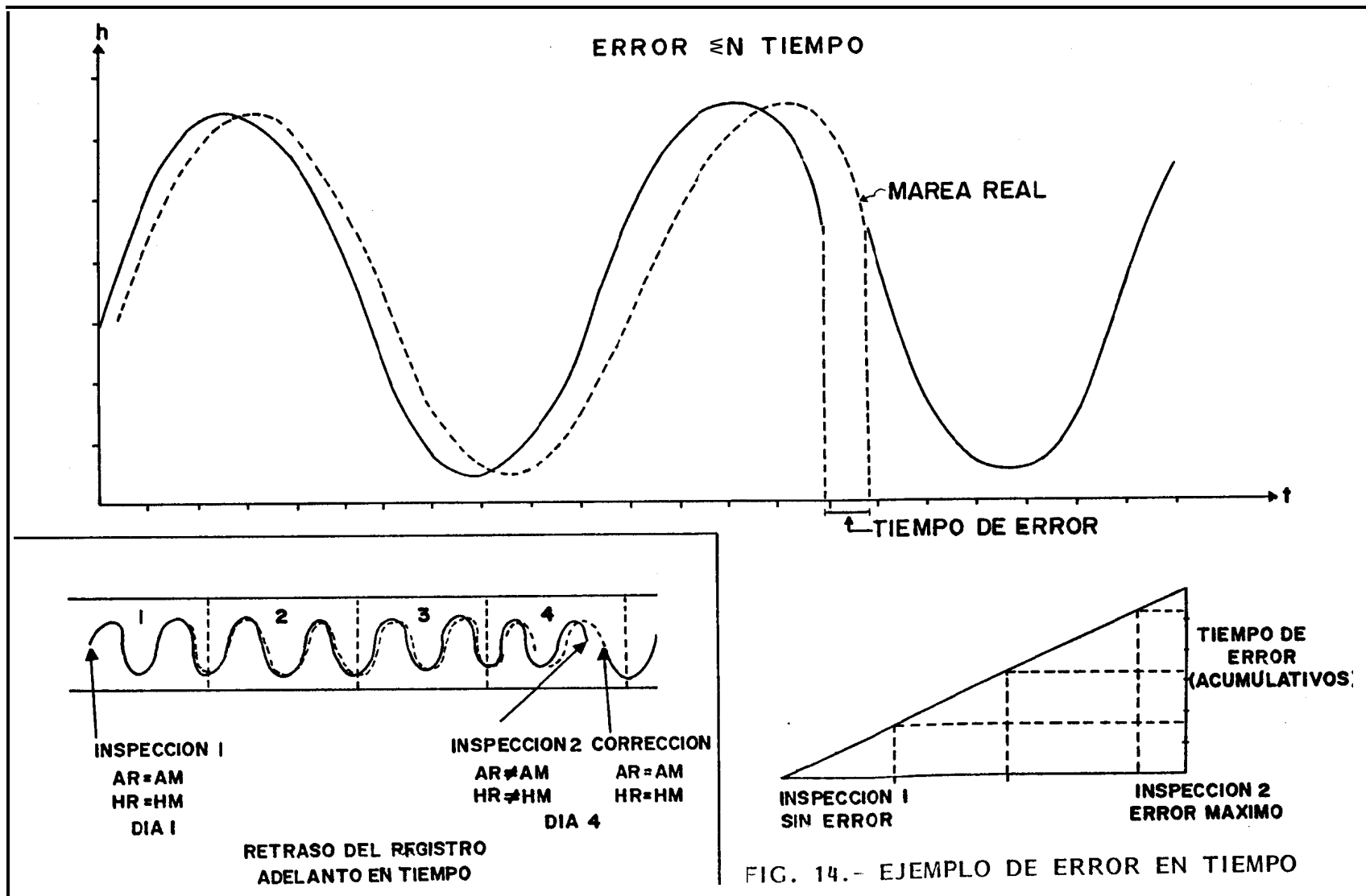


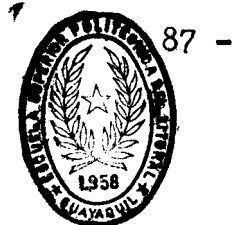
FIG. 14.- EJEMPLO DE ERROR EN TIEMPO

var en el gráfico el tiempo de error correspondiente a la lectura para el día y hora objeto de medición, y leer el registro haciendo la corrección hacia atrás para la hora indicada, con el fin de que al hacer la última observación, ésta coincida con el inicio del próximo registro, el cual como es lógico, se inicia en la posición y tiempo adecuado luego de la inspección.

Corrección para lecturas de pleamares y bajamares.

En este caso, el punto de interés, no es la altura de marea a la hora exacta (en punto), sino la hora en que sucede una pleamar o una bajamar y sus alturas correspondientes. Observando el gráfico, se aprecia que el registro aparece retrasado respecto de la marea real, por tanto se debe leer primero la altura de marea y luego leer la hora en una posición más adelantada y coincidente con el tiempo de error.

- Cuando el error no ha sido un retraso, sino un adelanto, las correcciones se hacen de la manera inversa.



### 2.3.2. TABULACION

Una vez optimizados los registros, estos deben ser tabulados en sus respectivas fichas, y luego esta información, correctamente archivada y computarizada para su posterior utilización.

Los datos de mareas son generalmente tabulados de mes a mes. llenándose usualmente dos tipos diferentes de planillas; alturas horarias y pleamares y bajamares. Adicionalmente, otras fichas son llenadas cada año con promedios mensuales y anuales de las constantes no armónicas, lo cual permite una visualización de pequeñas fluctuaciones anuales, estos datos deben ser graficados año a año, para tener registros continuos de tales variaciones.

#### LECTURAS COMPARATIVAS

Estas sólo se realizan en los registros de mareógrafos estandar, los cuales no tienen escala vertical.

Este procedimiento es útil para obtener la

relación entre las líneas del plano de referencia del record y el plano referencial de la estación. En las estaciones de control, esto sirve para mantener un plano de referencia invariable para la tabulación de las series observadas. Para cumplir tales fines, es necesario tener apuntado en el registro la lectura real de la marea (altura real diaria), y esta comparada con una lectura arbitraria del registro, leída mediante una escala transparente (regla vitrificada). La diferencia entre estas dos lecturas debe ser similar a lo largo del período de cálculo, luego se obtiene un promedio de todas estas diferencias y si un valor difiere apreciablemente de este, debe ser eliminado, calculándose un nuevo promedio. Esta diferencia promedio debe ser sumada algebraicamente al valor adoptado inicialmente como escala para la regla vitrificada. Con este nuevo valor se puede hacer uso de la escala, y proceder luego a la tabulación.

#### ALTURAS HORARIAS

Consiste en tabular de hora en hora los datos observados en los registros. Se comienza a



apuntar desde las 00h00 hasta las 23h00 de cada día, hasta completar el mes de observaciones. Esta información es muy valiosa, pues en base a ella se realiza el análisis armónico que permite obtener los valores de las CONSTANTES ARMONICAS típicas de cada puerto, las cuales son necesarias para realizar la predicción de las mareas. Además, se utiliza para el calculo del nivel medio del mar, que no es otra cosa que el promedio de estas observaciones. También puede ser calculado el nivel de reducción de sondas (NR).

En caso de que hubieren vacíos en los registros para uno o más días, lo proceoonte es tabular 105 datos existentes y luego interpolar los faltantes. La mejor manera de hacerlo es tomando ta altura obtenida para una misma hora en los días anteriores y posteriores a los días faltantes, graficar luego esto5 valores de jando vacíos donde la i nformación no existiere, lo cual da una curva sinusoidal donde faci l mente se puede obtener el dato requer i do para la hora que se esté interpo-  
1 ando. Esto debe ser hecho para cada una de las horas fal tantes. Luego, los valores interpolados, serán graficados en el regis-

tro, suavizados, y leídos como tales. Este procedimiento de interpolación es factible cuando la información faltante no excede de dos días.

#### PLEAMARES Y BAJAMARES

Esta tabulación se realiza mensualmente. La hora en que tienen lugar las pleamares y bajamares debe expresarse en horas y decimos de hora, numeradas consecutivamente desde 00h00 hasta las 23h00.

Al precisar la hora de pleamar o bajar por la curva de marea, debe atenderse a la orientación general de la curva y no a los picos individuales que aparezcan debido a varias causas. El objeto es tomar el medio de un arco suave que abarque una hora o más durante una pleamar o bajar (U.S. Coast and Geodetic Survey, 1965).

Las alturas deben ser tabuladas de acuerdo a la escala de cada registro y luego transformados a metros y décimos de metro.

Valores faltantes de altura y hora pueden ser

interpolados o extrapolados usando la misma aproximación obtenida para calcular alturas horarias o por comparación directa con observaciones simultaneas de alguna estación cercana.

#### 2.4. NIVELES DE REFERENCIA

Las observaciones reales de la información de mareas utilizada en esta tesis, fueron realizadas en reglas fijas, en las cuales se usó como punto de referencid, el cero de las escalas respectivas "cero hidrográfico". Es importante enunciar, que el uso continuo de un mismo cero hidrográfico dependerá de la estabilidad de la regla utilizada, y que en caso de un movimiento vertical de ésta, será necesario hacer nivelaciones que permitan el regreso de la regla a su posición original, o calcular la nueva posición del cero y hacer luego correcciones algebraicas a las observaciones.

Las reglas de marea de la Sección Mareas del INOCAR están referidas a Marcas de Nivelación ubicadas en estructuras inmóviles, tales como: edificios, muelles, monumentaciones especiales conocidas como BENCH MAHKS (BM o RN) , etc. Lo cual hace posible las nivelaciones rutinarias que realiza esta insti-

tución, en las estaciones principales.

#### 2.4.1. MARCAS DE NIVELACION DE LAS MAREAS

Son aquellas establecidas con el objeto de señalar niveles de mareas determinadas por observaciones, y sirven de base para elevaciones que se transportan por medio de nivelaciones a otras marcas en el interior de los países.

Las marcas de nivelación usadas por INDCAR, son círculos metálicos colocados en posición horizontal, que están generalmente referidos al "nivel medio del mar" de La Libertad. Es decir que tienen cota conocida (altura conocida respecto al geocido).

En general, todas las estaciones de mareas, aun aquellas que se instalan por cortos períodos, deben estar sujetas por lo menos a tres marcas de nivelación. En las estaciones de periodo intermedio (1 año o más), el número de marcas debe ser de 5; necesitandose 10 de ellas, en estaciones patrón.

Las estaciones principales utilizadas aquí,

estuvieron "atadas" a varias marcas de nivelación, las cuales estuvieron esparcidas en un radio máximo de 1.5 Kms. alrededor de la estación mareográfica.

Todos los detalles de las nivelaciones y BMs utilizados en cada estación, se encuentran adecuadamente archivados en monografías, inclusive la "Marca F'rimaria de Nivelación" , la cual está dotada de mayor exactitud y estabilidad que las otras marcas de mareas de una estación. Tarjetas con gráficos y posiciones tanto horizontales como verticales de los BMs, y de la regla, son también adjuntas a tales monografías (Ver ejemplo en Fig.15).

#### 2.4.2. PRINCIPALES NIVELES REFERENCIALES OBTENIDOS DE LA OBSERVACION DE LAS MAREAS

Los niveles de referencia utilizados en este trabajo , fueron obtenidos de dos maneras: la mayoría de ellos se calcularon directamente de los datos suministrados por el formulario de pleamares y bajamares, mientras que otros fueron computados mediante el uso de las constantes armónicas obtenidas del análisis armónico. Lo importante de este último méto-

<b>FICHA</b>	<b>ESTACION MAREOGRAFICA</b>		-LADO ANTERIOR-
<b>DESCRIPCION</b>			
ESTACION: LUGAR: PROVINCIA:	FECHA : LEVANTAMIENTO CARTA No. EMBARCACION		
COORDENADAS GEOGRAFICAS LATITUD: LONGITUD:	MAREOCRAFO:		
	CERO DEL MAREOGRAFO      cm.	CERO DE LA REGLA      cm.	
DESCRIPCION DE LA REGLA		DESCRIPCION DE REFERENCIA DE NIVEL	
<b>NOTACION</b>	ARCHIVO TECNICO	PERSONAL PARTICIPANTE EN LA INSTALACION	
	RECIBIDA EN :  DOCUMENTO DE REFERENCIA:	JEFE DEL EQUIPO:	
		-LADO POSTERIOR-  ESQUEMA DE UBICACION DE LOS NIVELES DE REFERENCIA	
OBSERVACIONES			
<b>FIG. 15.- TARJETA DE DESCRIPCION DE LA UBICACION Y POSICION DE LA ESTACION MAREOGRAFICA.</b>			

do, es) que realiza las correcciones de variaciones ocasionadas por las desigualdades diurnas, rectificación para la longitud del nodo lunar y otras. Para este cálculo, se utilizaron los valores de alturas horarias obtenidas durante 32 días de observaciones.

En general, a estos niveles referenciales se los conoce también como constante; no armónicas de las mareas. De ellos, los más usados en el Ecuador son; el nivel medio del mar (MSL) y el nivel de bajamar-el de sicigia (MLWS), o nivel de reducción (NR), cuando se lo usa para reducir sondeos.

A continuación se da una lista de las principales constantes no armónicas, y su ubicación en la vertical es mostrada en la figura 16.

- NM o MSL (nivel medio del mar): es la media aritmética de los niveles del mar determinados a intervalos iguales durante una larga serie de observaciones.

- MTL (nivel medio de las mareas): es la altura media obtenida de una serie de observaciones de pleamares y bajamares.

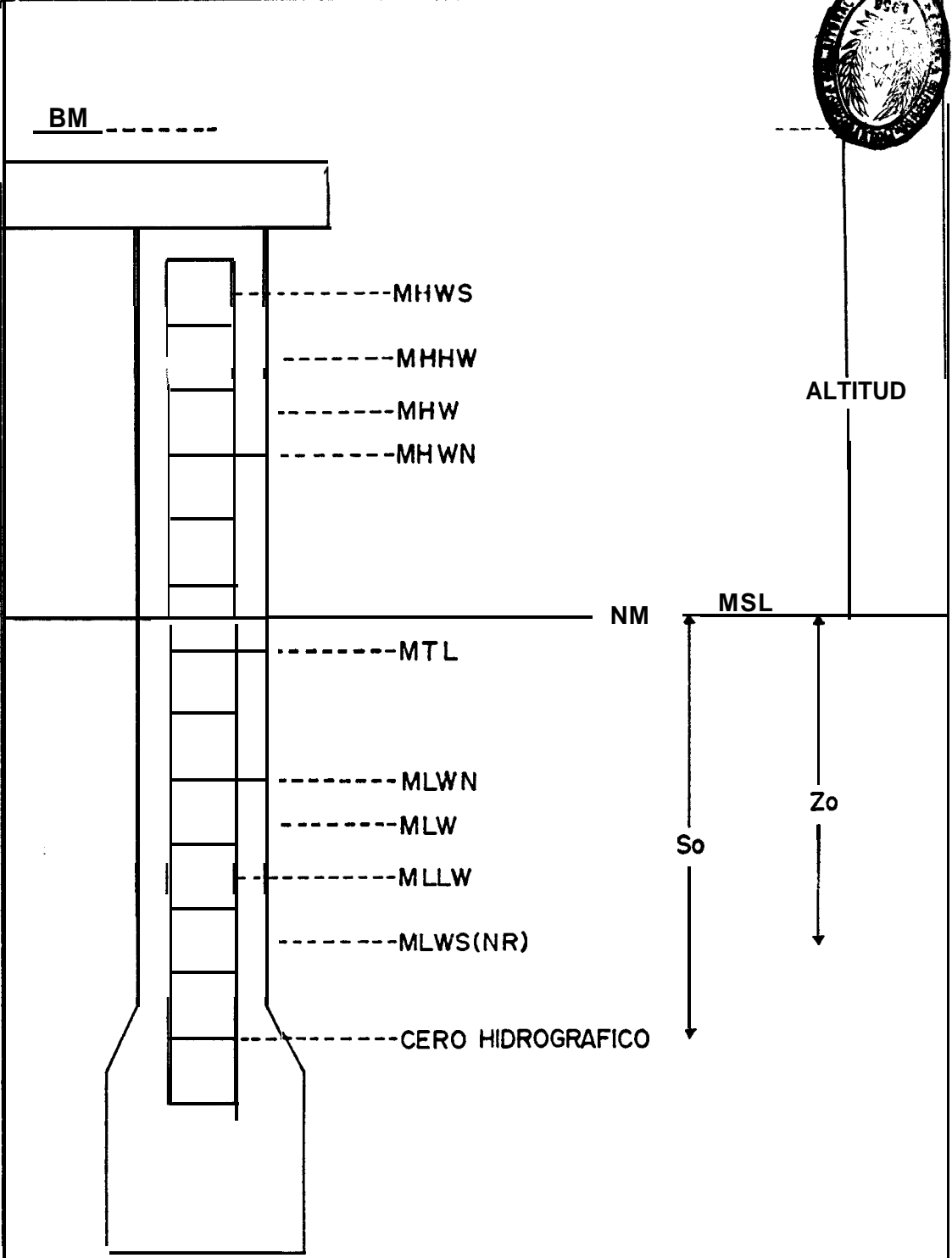


FIG. 16. UBICACION DE LOS NIVELES REFERENCIALES DE LAS MAREAS EN LA REGLA.



MTL y MSL son muy similares y su diferencia se mantiene casi constante de mes a mes.

- MHWS (mean high water spring): nivel medio de pleamares de sicigia. Se obtiene promediando las mayores pleamares mensuales.

- MHHW (mean high higher water): se obtiene promediando las alturas de las mayores pleamares diarias.

- MHW (mean high water): nivel medio de pleamares. Se obtiene promediando las alturas de todas las pleamares de una serie.

- MHWN (mean high water neap): se obtiene promediando la altura de las pleamares de cuadratura.

- MLWN (mean low water neap): nivel medio de las bajamares de cuadratura.

- MLW (mean low water): bajamar media. Es el promedio de todas las bajamares de una larga serie. Este plano ha sido adoptado para los trabajos hidrográficos de la costa atlántica de los Estados Unidos.

- MLLW (mean low lower water): nivel medio de las 5 mayores bajamares diurnas. Este nivel es usado en el litoral del Pacifico de Estados Unidos.
  
- MLWS (mean low water spring): nivel medio de bajamares de sicigia. Es el promedio de las bajamares de sicigia que ocurren un día o dos después de la luna llena o nueva. Este puede obtener-se también, restando la mitad de la amplitud de las mareas de sicigia de la marea media. El análisis armónico, ha sido considerado, el método más eficiente para el cálculo de la amplitud de las mareas de sicigia. De donde se ha descubierto que la relación entre la amplitud de las mareas de sicigia y la amplitud promedio es casi constante en grandes extensiones. Para trabajos hidrográficos, este plano de referencia es usado en casi todos los países.
  
- NIVEL MEDIO DE FIO: promedio de las oscilaciones verticales del nivel de un río, ocasionadas por efecto de las mareas. Para su cálculo se utiliza las alturas horarias, excluyéndose del análisis, la información

proveniente de períodos de crecidas anormales, propias de los ríos.

## C A P I T U L O    I I    1

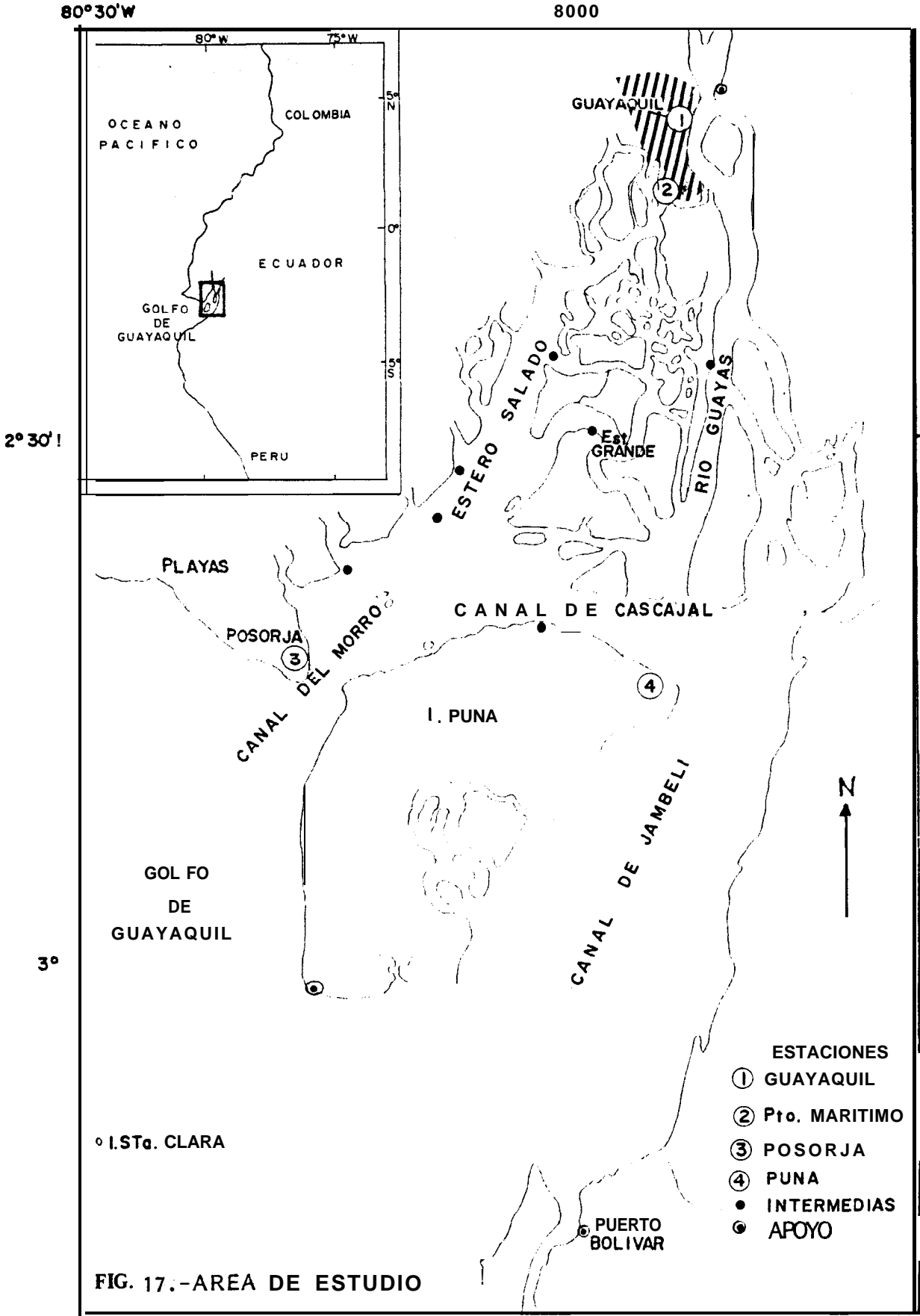
### ANALISIS DE LA INFORMACION MAREOGRAFICA EN EL SISTEMA RIO GUAYAS - ESTERO SALADO

Se presenta e l análisis de la información de mareas obtenida en diversas estaciones mareográficas del sistema estuarino en estudio. Tales estaciones, pueden ser observadas en la figura 17.

El objetivo primordial de esta presentación es conocer de mejor manera el comportamiento de las mareas en el sistema estuarino y de formular pautas y recomendaciones que permitan establecer una mejor predicción de marea.5 en las estaciones involucradas.

#### 3.1. VARIACION DE LOS NIVELES DE REFERENCIA

Los niveles de referencia (constantes no-armónicas) como fueron definidos en el capítulo anterior? están sujetos a variaciones periódicas y aleatorias que tienen su origen en fenómenos de carácter físico. Generalmente estas variaciones son de pequeña magnitud, y debidas a los cambios propios de las fuer-



zas del potencial de mareas. Existen sin embargo, ciertas oscilaciones de estos niveles (en especial en estuarios), que son originadas por causas de orden diverso.

El análisis se realiza con el estudio de 3 estaciones mareográficas: Puerto Marítimo, Guayaquil (Río Guayas) y Posorja. La estación de Funá, también incluida en el sistema Río Guayas - Estero Salado, no se la analiza por no constar de la suficiente información para establecer una tendencia.

### 3.1.1. PREPONDERANCIA DE LAS COMPONENTES SEMIDIURNAS EN EL SISTEMA RIO GUAYAS - ESTERO SALADO

Para las aguas estuarinas (influenciadas por las mareas) en particular y para el mar ecuatoriano en general, existe una preponderancia de las componentes semidiurnas sobre las diurnas (TABLA VI), lo cual permite tener 4 mareas cada día lunar, es decir dos pleamares y dos bajamares cada 24.8 horas. En realidad esto es muy común en todo el océano, por lo expuesto en el capítulo I, sin embargo existen lugares donde las componentes diurnas son las más importantes.

TABLA VI  
 PREPONDERANCIA DE LAS COMPONENTES SEMIDIURNAS  
 EN EL  
 SISTEMA RIO GUAYAS - ESTERO SALADO

Se debe cumplir la siguiente relacion:

$$(k1 + 01)/(M2 + S2) < 0.25 \quad \text{MAREA SEMIDIURNA}$$

$$(k1 + 01)/(M2 + S2) = 0.25 - 1.25 \quad \text{MAREA MIXTA}$$

$$(k1 + 01)/(M2 + S2) > 0.25 \quad \text{MAREA DIURNA}$$

CTE.	PUERTO GUAYABUIL	POSORJA	PUNA	
	MARITIMO			
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
k1	15.82	16.10	13.80	15.12
01	3.48	1.96	6.47	19.30
M2	158.59	163.17	90.10	135.04
S2	40.80	32.80	24.79	34.62
N2*	32.75	29.15	19.09	32.17
K2*	11.10	8.92	6.74	9.41
So*	1565.00	274.32	330.26	330.56
RELACION	0.10	0.09	0.18	0.11

\* Constantes (amplitudes) a utilizarse posteriormente

La razón principal para lo finalmente expuesto, es que debido a la fuerte declinación lunar (cumple un ciclo en aproximadamente 27 días) se producen las desigualdades diurnas, las cuales al ser muy intensas originan las llamadas mareas diurnas.

Debido entonces a la característica semi-diurna de las mareas ecuatorianas y a las desigualdades diurnas implicadas, tenemos por tanto una variación diaria entre las alturas de pleamares o bajamares sucesivas, lo cual no permite establecer todos los planos de referencia dados por las mareas.

### 3.1.2. VARIACION MENSUAL DE LOS PRINCIPALES NIVELES DE REFERENCIA

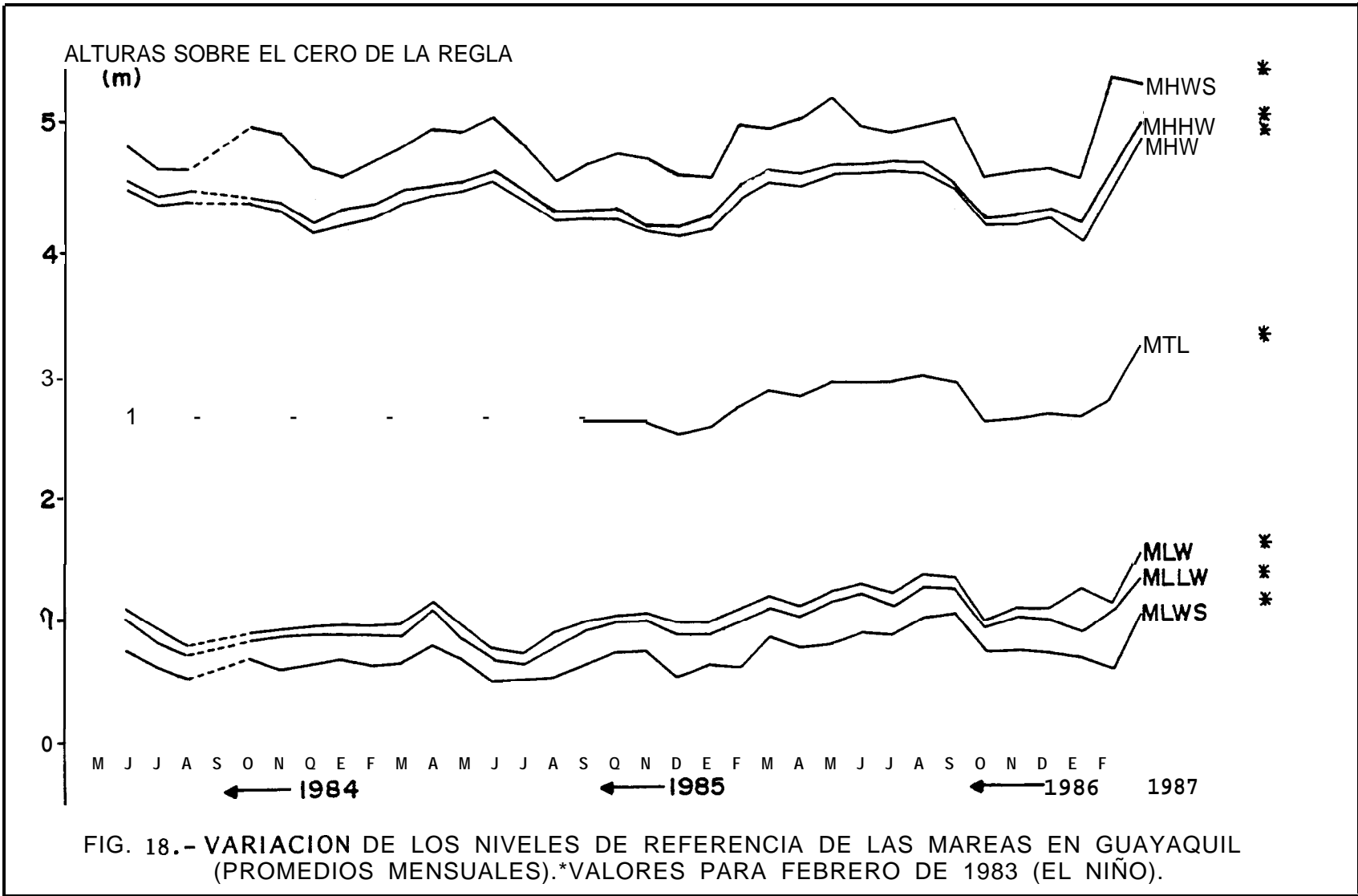
Se analizan las variaciones de los promedios mensuales de los principales planos de referencia. Es necesario indicar que no se contó con una serie del nivel medio (NM) en las estaciones utilizadas, lo cual pudo ser suplido con mucha aproximación por el nivel medio de la marea (MTL), el cual como ya sabemos, conserva una diferencia de altura muy pequeña y casi constante en el tiempo con



respecto al NM.

Observando 1 a Fig. 15 (Guayaquil Río Guayas), se notan intensas variaciones mensuales de estos niveles (referidos al cero hidrográfico en este trabajo). En general se aprecia que los niveles siguen las mismas tendencias en conjunto, lo cual indica la presencia de oscilaciones de baja frecuencia, asociadas, y que el rango promedio de la marea tiende a conservarse (3.5 m. aprox.). Es también de interés un máximo casi constante de los niveles, de febrero a septiembre de 1986, para tener luego un pequeño mínimo de tres meses y un repentino aumento en los inicios de 1987 (año de El Niño), cuyas alturas las comparamos con las máximas obtenidas en febrero de 1983 (\*). Se evidencia entonces, un caso de fuerte influencia estacional anual, asociada también a fluctuaciones interanuales relacionadas a eventos tipo El Niño y auspiciada por un aumento o disminución de la descarga del río. No se descarta tampoco una variación semestral, lo que será discutido más adelante.

En las figuras 19 (Posorja) y 20 (Puerto





Marítimo) lo primero que se nota es la  
diferencia de amplitud entre las dos estaciones  
2 y 3.5 metros respectivamente (ver subcapítulo  
3.2), pero también observamos que la  
oscilación estacional disminuye notablemente,  
especialmente en Puerto Marítimo, donde la  
influencia dominante es la ocasionada por los  
fenómenos "El Niño" (82-83 en este caso).

Comparando ahora los niveles respectivos de  
las dos estaciones anteriores, se observa que  
el comportamiento es prácticamente el mismo,  
lo cual indica, que en este sector del siste-  
ma (Estero Salado), la influencia es predomi-  
nantemente oceánica y que el efecto local  
podría no ser importante.

En lo que respecta al sector correspondiente  
al Río Guayas, es de esperarse que el compor-  
tamiento de la marea tenga mucha participa-  
ción local, pero esto no pudo ser comprobado  
debido a la ausencia de información confiable  
a nivel de promedios mensuales, en el Canal  
de Jambelí.

ALTURAS SOBRE EL CERO DE LA REGLA  
(m)

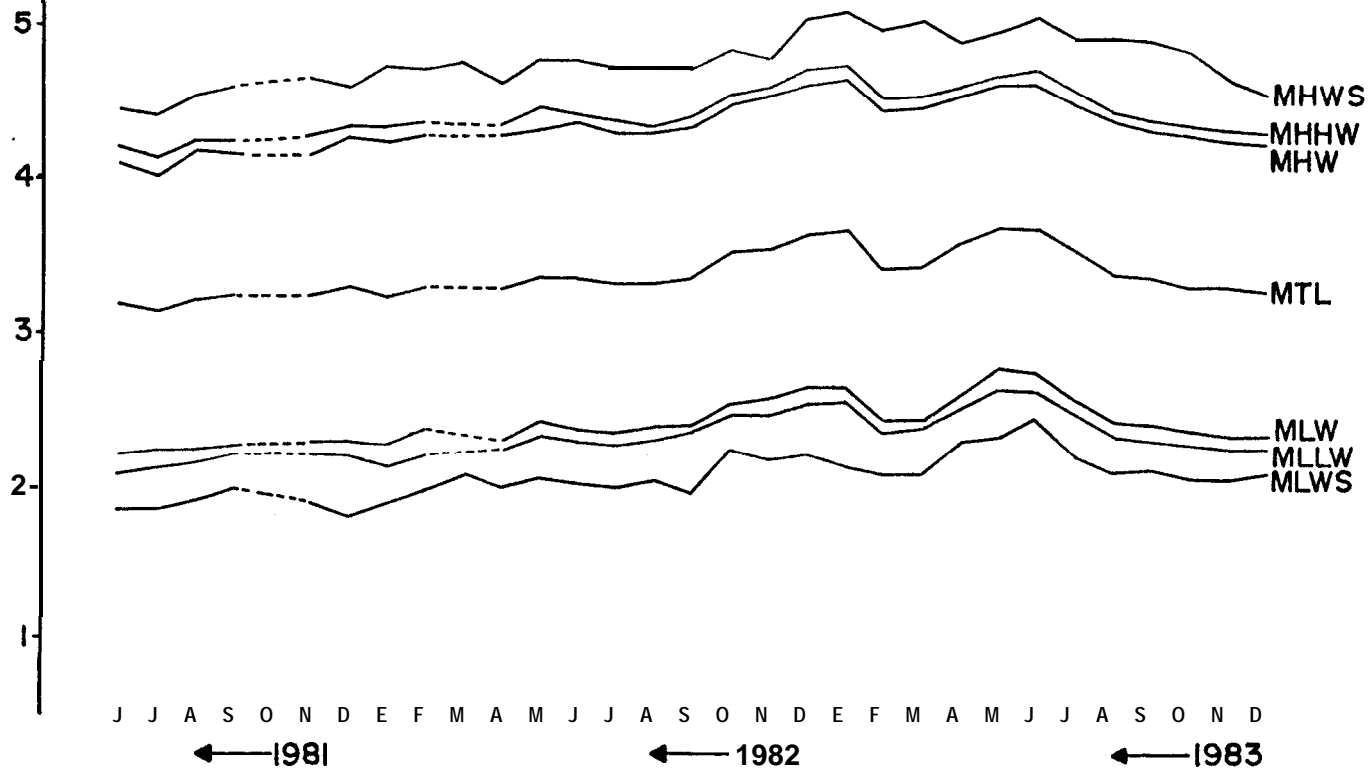
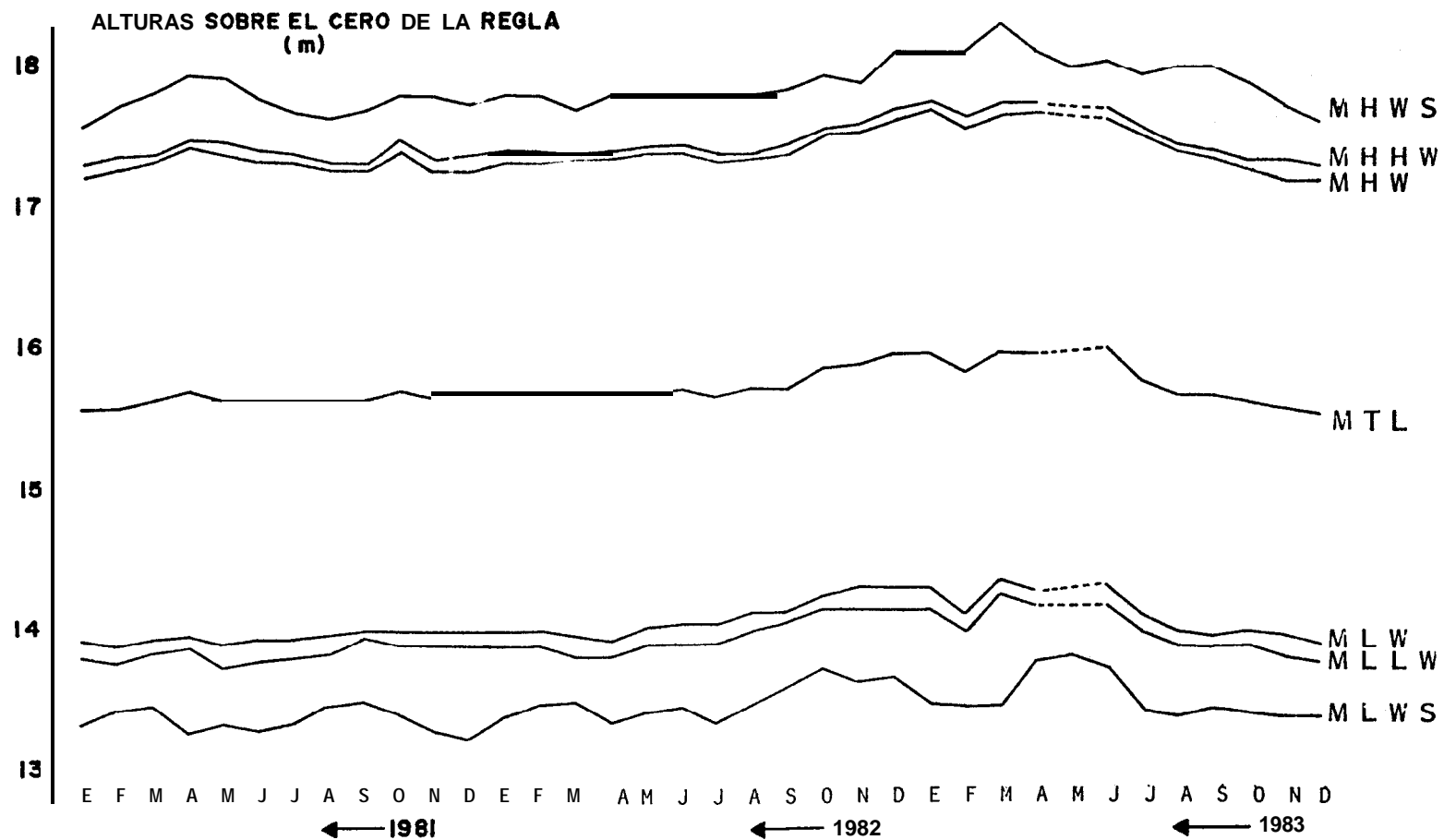


FIG. 19 VARIACION DE LOS NIVELES DE REFERENCIA DE LAS MAREAS EN POSORJA  
(PROMEDIOS MENSUALES).

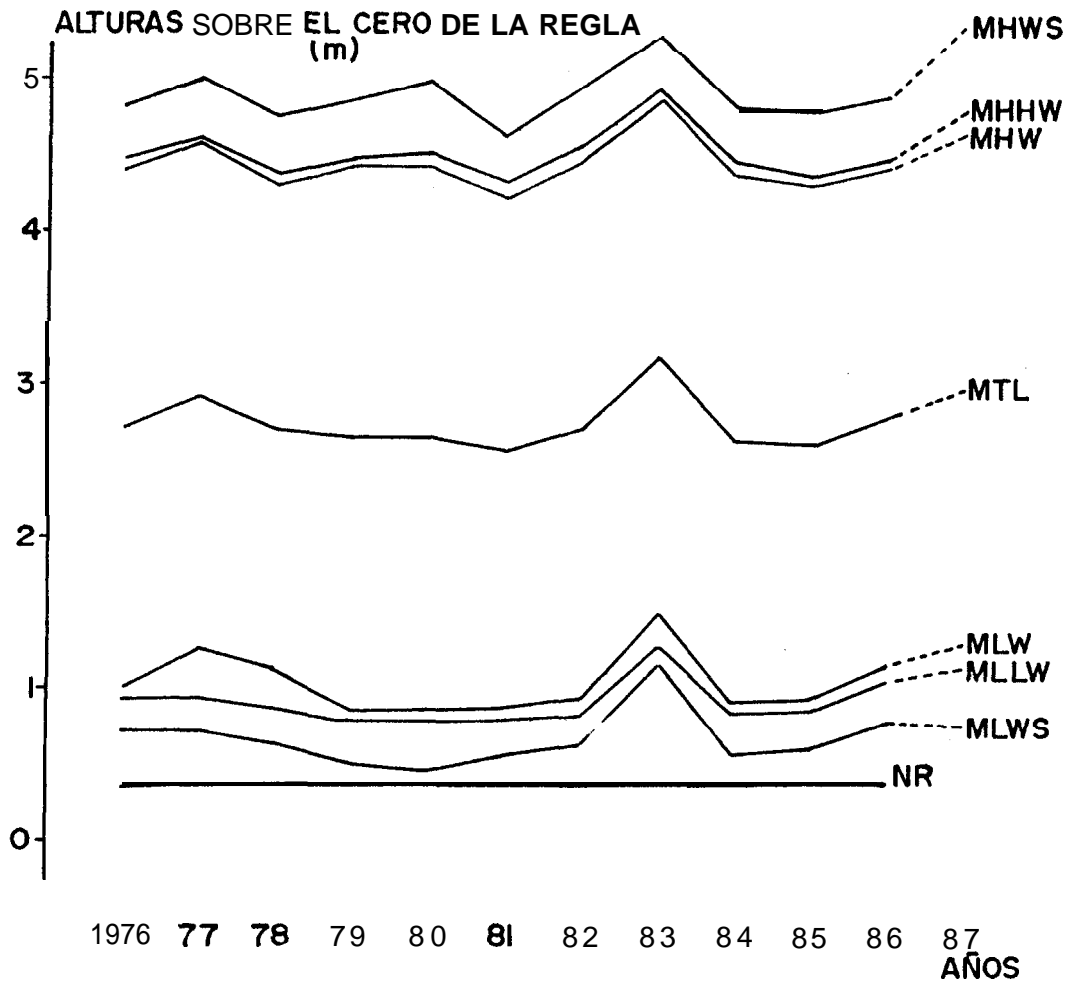


**FIG. 20 VARIACION DE LOS NIVELES DE REFERENCIA DE LAS MAREAS EN PTO. MARITIMO (PROMEDIOS MENSUALES).**

### 3.1.3. ANALISIS DE TENDENCIA

El análisis de tendencia permite establecer la estabilidad o inestabilidad de los niveles de referencia y de las constantes armónicas. Se entiende por estabilidad, la propensión de los valores a oscilar alrededor de sus promedios multianuales, inestabilidad es el hecho de no conservar esa propiedad, es decir que 105 valores adquieren alguna tendencia, lo cual implica la necesidad de realizar correcciones permanentes en los niveles de referencia, siempre y cuando las tendencias estén comprobadas mediante el análisis de las constantes armónicas en fase y amplitud. La inestabilidad está generalmente asociada a cambios en la morfología de 105 sistemas F-n estudio (sedimentación, erosión, etc.).

Las figuras 21, 22 y 23 muestran los promedios anuales de los planos de referencia en las estaciones Guayaquil (1976-1987), Posorja (1973-1983) y Puerto Marítimo (1967-1986); en ellos lógicamente, los efectos estacionales (anuales) han sido filtrados y sólo se observan los valores de corta frecuencia asociados generalmente a eventos "El Niño" y a movi-



**FIG. 21 VARIACION DE LOS NIVELES DE LAS MAREAS EN GUAYAQUIL (RIO GUA-  
YAS) - PROMEDIOS ANUALES.**

ALTURAS SOBRE EL CERO DE LA REGLA  
(m)

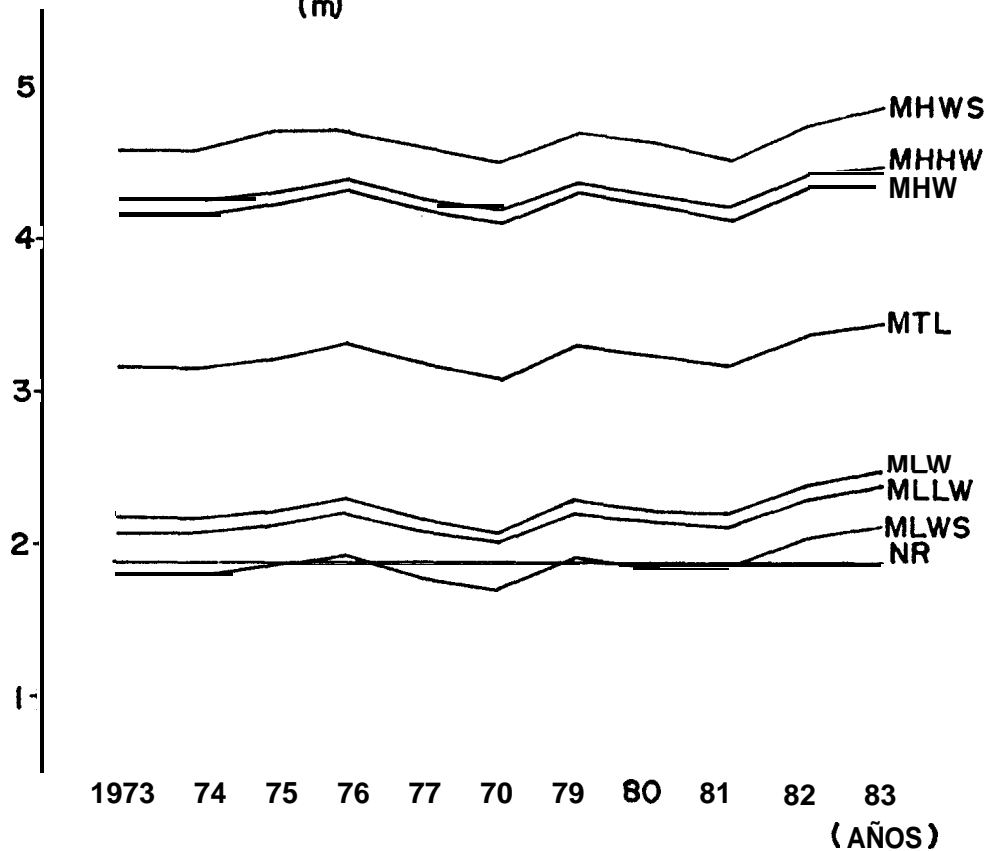


FIG.22 VARIACION DE LOS NIVELES DE REFERENCIA DE LAS MAREAS EN POSORJA (PROMEDIOS ANUALES).



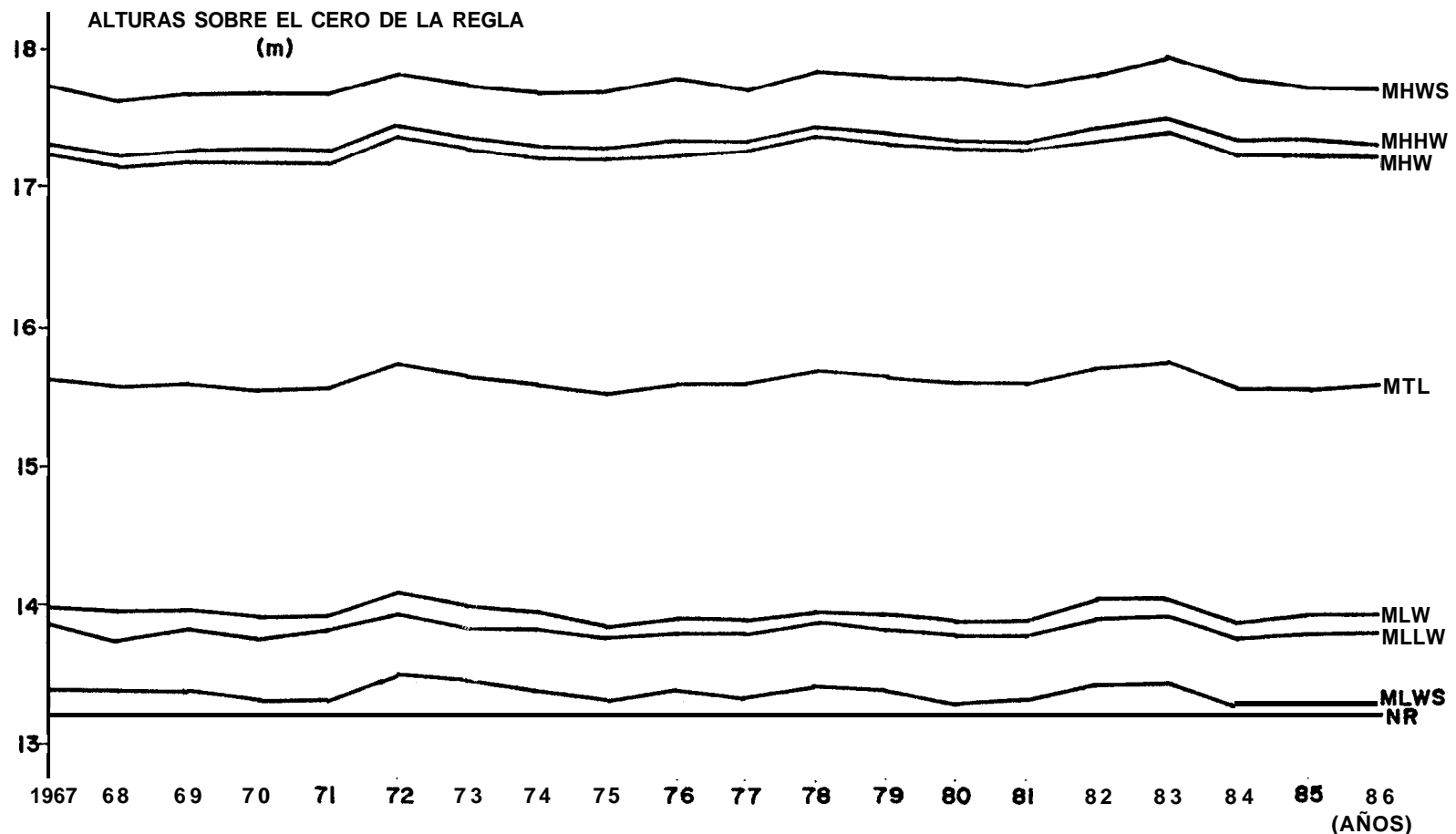


FIG. 23 VARIACION DE LOS NIVELES DE REFERENCIA DE LAS MAREAS EN PTO. MARITIMO (PROMEDIOS ANUALES).

mientos astronómicos de largo período. También se han graficado aquí los niveles de reducción, los cuales en teoría deben ser iguales al MLWS, y han sido calculados estos últimos, mediante el uso de las constantes expuestas en la tabla VI, utilizando la siguiente fórmula:

$$NR = S_0 - Z_0 = S_0 - (M_2 + S_2 + N_2 + K_2)$$

donde,

$S_0$  = Nivel medio referido al cero hidrográfico (calculado con las alturas horarias).

$M_2, S_2, N_2, K_2$  = Semiampplitudes de las constituyentes correspondientes.

Los resultados que se obtuvieron coinciden con los reportados por INOCAR en 1984 (Monografías de las estaciones).

Guayaquil = 40.271 cm.

Posorja = 189.538 cm.

Pto.Marítimo = 1321.766 cm.

En la estación Guayaquil, se observa una fuerte variabilidad de los niveles y un pico muy bien definido en el año 1983. en el cual el MLWS real se eleva cerca de 75 cms. respecto del NR. Estas variaciones repercuten directamente en el cálculo de las constantes armónicas; de esta manera, un NH calculado a partir de información proveniente del año 1983, estará sobreestimado, ocasionando errores en las cartas hidrográficas que lo utilizaren. No se observaron tendencias definidas en esta estación.

En la estación Posorja, los niveles se muestran menos oscilantes que en la estación anterior, sin embargo se aprecia una ligera tendencia positiva. Es interesante observar además, que inicialmente el MLWS se encuentra bajo el NR y que al final éste es sobrepasado por aquel, esto nos da una idea de los cambios que se pueden establecer en los niveles cuando existe una tendencia.

Por otro lado, en la estación Puerto Marítimo se observa una gran estabilidad de los niveles, y las únicas perturbaciones que alteran este registro, son aquellas propias de

los eventos muy fuertes de "El Niño", tales como aquellos del 72 y del 82-83. Esta apreciable estabilidad de los niveles referenciales, permite entonces concluir que el sector norte del Estero Salado, no se encuentra influenciado en gran medida por descargas anormales del río Guayas, cuyas excedencias pudieren transportarse hacia esa parte del estero, a través del estero Cobina, del estero Grande o del canal de Cascajal. Lo anteriormente expresado podría ser un indicativo de que el sector del estero Salado contiguo al Puerto Marítimo es una zona bastante protegida con poco intercambio de agua con el océano, sin embargo, esto debe ser demostrado.

Ahora, con el objeto de determinar la existencia o no de tendencias, se han obtenido por medio del método de mínimos cuadrados, las líneas de regresión de las series anteriores (sólo valores del MTL). En la figura 24 y en la tabla VII, se observan las líneas obtenidas y las ecuaciones con sus coeficientes de correlación respectivamente; también se pueden observar los promedios y desviaciones estandar de las series.

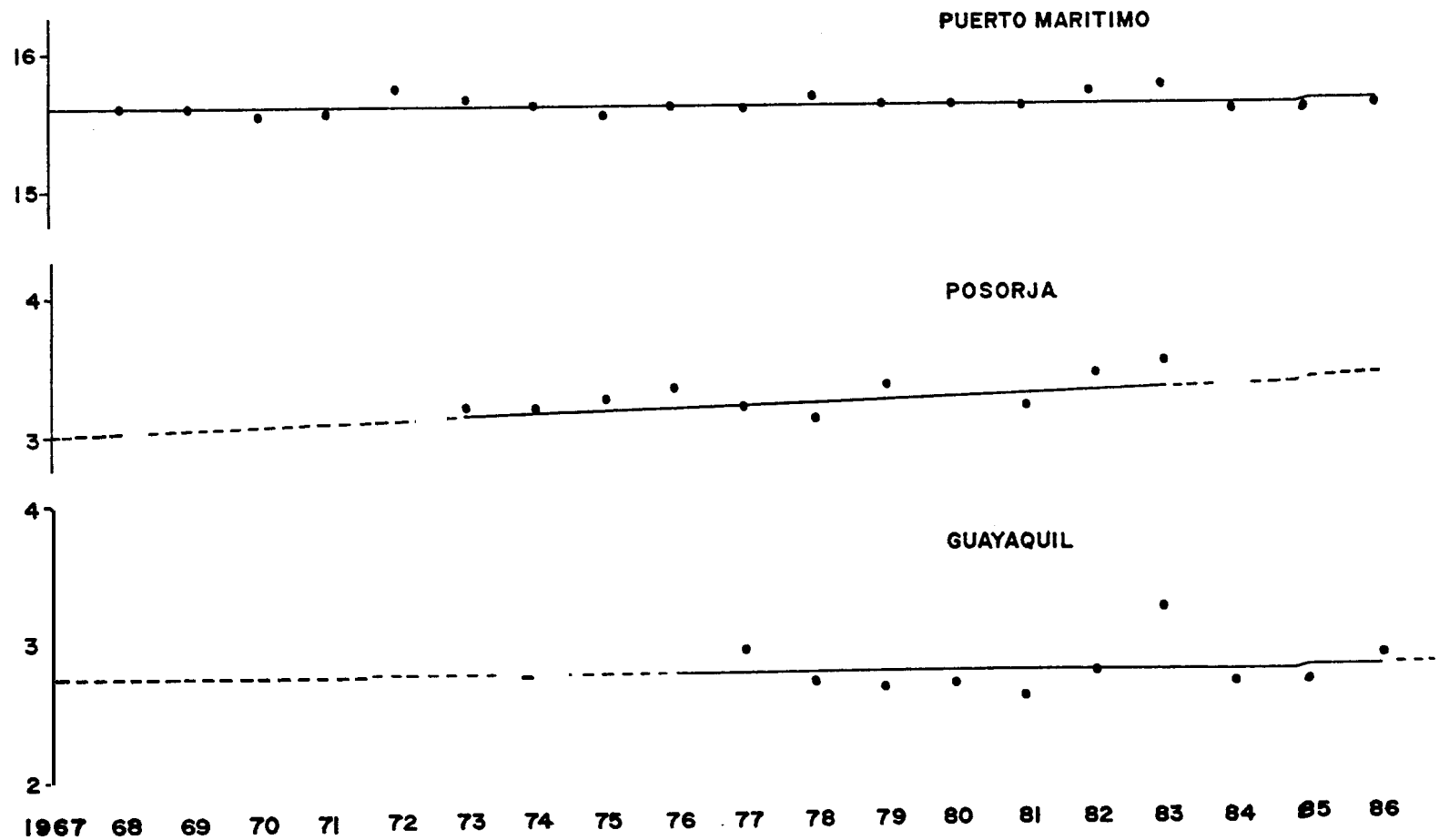


FIG. 24.- LINEAS DE REGRESION DEL NIVEL MEDIO DE LAS MAREAS

**TABLA VII**  
**NIVEL MEDIO DE LA MAREA**

<b>LUGAR</b>	<b>A Ñ O</b>																							
	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87			
PTO. MARI TI MO	15.62	15.56	15.58	15.54	15.55	15.73	15.64	15.53	15.52	15.57	15.57	15.66	15.61	15.58	15.58	15.69	15.73	15.56	15.55	15.56				
GUAYAQUIL										2.72	2.93	2.72	2.66	2.66	2.57	2.72	3.18	2.66	2.63	2.81				
POSORJA							3.17	3.16	3.21	3.32	3.18	3.11	3.32	3.24	3.79	3.38	3.46							

RECESION LINEAL

PROMEDIO

D. S.

PTO. MARI TI MO       $h = 15.53 + 0.0009 (\text{AÑO}^*)$

$r = 0.09$

15.60

0.06

GUAYAQUIL       $h = 2.63 + 0.0016 (\text{AÑO}^*)$

$r = 0.03$

2.75

0.17

POSORJA       $h = 1.65 + 0.020 (\text{AÑO}^*)$

$r = 0.63$

3.25

0.11

ALTURAS REFERIDAS A LOS CEROS DE LAS RECIAS RESPECTIVAS

\* AÑO 2.000 = 100      EN LOS CALCULOS

Las correlaciones obtenidas para Puerto Marítimo y Guayaquil son no-representativas, desvirtuando la posibilidad de que las pequeñas tendencias observadas sean reales, en base a esto, se considerará también que las oscilaciones alrededor de sus promedios, son producto del azar.

En Posorja sin embargo, el coeficiente de correlación obtenido ( $r=0.63$ ), indica que la línea de regresión se ajusta bastante bien a la variación del MTL con el tiempo, es decir que la tendencia es aparentemente real.

A continuación, para demostrar la importancia del estudio de las tendencias de los niveles de referencia, se ha hecho una extrapolación hasta el año 2000 (al que llamamos 100 en la regresión) para calcular la posición del MTL de la última estación estudiada. El resultado obtenido indica, que el nivel medio de la marea en Posorja para el año en mención, estará a la altura de 3.7 metros sobre el cero hidrográfico (45 cms sobre el promedio multianual actual), si es que la tendencia realmente existiere. Esto implicaría que todos los niveles habrán variado.

Lo anterior ha dado una idea bastante descriptiva de las variaciones que pueden sufrir 105 niveles referenciales de las mareas; se puede hacer ahora un pronóstico de su comportamiento futuro, si se conocen las tendencias involucradas. Sin embargo, las CONSTANTES NO-ARMONICAS, sólo son un reflejo de las diversas fluctuaciones ocurridas en el nivel del agua y éstas últimas pueden ser estudiadas por el análisis armónico. Por lo tanto, cualquier fenómeno que esté ocurriendo cercano a una estación dada y que involucre la dinámica de la masa de agua, será también detectado a través de las CONSTANTES ARMONICAS. En consecuencia, cambios en los niveles de referencia pueden ser entendidos a través del concepto de variabilidad de las constituyentes, tanto en fase como en amplitud. Esto también será de utilidad para optimizar el uso de las constantes armónicas en las predicciones y otros cálculos en las que actúen.

Se extiende ahora el análisis, al estudio del comportamiento de las COSTANTES ARMONICAS en el tiempo. Se siguen los criterios formulados por Godin et al. (1980), quien estudia los valores anuales de  $Z_0$ , el nivel



promedio;  $S_a$ , su vdr i aci ón anual ;  $S_{sa}$ , su componente semi anual ;  $M_f$ , una marea semimen-  
sual;  $O_1$ ,  $P_1$ ,  $K_1$ , en la banda diurna y  $N_2$ ,  $M_2$ ,  $S_2$  y  $K_2$  en la semidiurna. Estableciendo además, el promedio vectorial de cada una de éstas constantes, el promedio aritmético, la desviación estandar, el coeficiente de correlación, la pendiente, para extrapolando obtener los valores mediante la linea de regresión, para el año 2000.

Las tablas VIII, IX y X contienen los valores disponibles en las estaciones estudiadas a los que se ha agregado  $S_o$  (nivel medio respecto al cero hidrográfico); no presentándose valores para  $M_f$ ,  $S_a$  ni  $S_{sa}$ .

Se consideró una tendencia real en una banda determinada (diurna o semidiurna), si la tendencia es unánime en amplitud o fase para todas las componentes de la banda, y el coeficiente de correlación es igual o mayor que 0.5 en cada una de ellas.

En la estación Guayaquil (Tabla VIII), debido a la poca cantidad de datos no se ha calculado el coeficiente de correlación ni la pen-



TABLA 1X  
ESTACION POSORJA

ESTABILIDAD DE LAS CONSTITUYENTES

AÑO	SO			Za		O1		P1		K1		N2		M2		S2		K2	
				H	G	H	G	H	G	H	G	H	G	H	G	H	G	H	G
1975	315.2	129.2	2.6	66	4.3	228	13.0	228	16.5	228	89.5	196	18.2	173	5.0	173			
*1976	315.0	130.2	2.8	174	3.7	284	11.2	284	14.0	177	89.4	172	21.0	183	5.8	183			
1977	314.7	131.1	3.0	283	3.1	345	9.3	340	11.4	126	89.4	147	23.8	193	6.5	193			
1978	315.4	139.0	1.9	269	3.9	352	11.8	352	18.0	122	91.6	141	23.1	197	6.3	197			
1979	334.3	134.3	3.1	298	4.8	345	14.5	345	17.2	111	88.7	147	22.3	193	6.1	193			
1984	330.3	140.7	6.5	280	4.6	333	13.8	333	19.1	110	90.1	149	24.8	199	6.7	199			
<b>PROMEDIO VECTORIAL</b>																			
			2.5	299	3.0	327	9.0	327	12.2	131	84.5	155	22.2	192	6.0	191			
<b>PROMEDIO ARITMETICO</b>																			
	322.0	134.9	3.4	239	4.1	320	12.5	320	16.4	139	89.9	156	22.4	191	6.1	191			
<b>D.E.</b>																			
	9.5	4.9	1.8	97	0.7	52	2.0	52	3.0	50	1.1	23	2.5	10	0.7	10			
<b>C.C. 1975 - 1979</b>																			
	0.7	0.8	0.0	0.9	0.3	0.9	0.3	0.9	0.3	0.9	0.1	0.9	0.7	0.9	0.7	0.9			
<b>PENDIENTE en/año grados/año 1975 - 1979</b>																			
	3.86	1.9	0.0	55.9	0.12	30.2	0.36	30.2	0.54	-28.9	0.06	-12.9	1.03	5.4	0.27	5.4			

\* AÑO INTERPOLADO

TABLA X  
ESTACION PUERTO MARITIMO

ESTABILIDAD DE LAS CONSTITUYENTES

AÑO	SO	Zo		O1		PI		EI		N2		t12		S2		K2	
		H	6	H	6	H	6	H	6	H	6	H	6	H	6	H	6
1 1975	1583.4	233.6	5.4	296	<b>6.3</b>	<b>16</b>	<b>19.0</b>	15	26.6	<b>166</b>	155.1	<b>183</b>	40.0	246	<b>10.9</b>	246	
111975	-	229.9	3.3	303	3.9	335	11.9	332	26.2	149	<b>148.3</b>	179	42.0	<b>237</b>	11.4	237	
1978	-	239.8	2.8	322	4.4	7	13.2	<b>7</b>	31.4	161	158.6	181	39.d	246	<b>10.6</b>	246	
1919	-	235.4	2.6	273	6.9	<b>5</b>	21.0	<b>5</b>	26.8	159	156.5	181	41.0	244	11.2	244	
1984	1565.0	243.2	3.5	309	5.2	346	<b>15.8</b>	34a	32.7	<b>161</b>	<b>158.6</b>	179	40.8	240	11.1	<b>240</b>	

PROMEDIO VECTORIAL

3.4 301 5.2 360 15.6 360 29.0 159 155.6 180 40.5 242 11.0 242

PROMEDIO ARITMETICO

236.4 3.5 301 5.3 142 16.2 142 29.2 159 155.6 180 40.6 243 11.0 243

D.E.

5.2 1.1 15 1.3 181 3.8 181 2.8 6 4.2 2 11 40.3 4

C.C.

PENDIENTE

diente de los elementos estudiados. Sin embargo, se ha calculado el promedio vectorial y el promedio aritmético, lo cual no5 ayud6 a establecer los siguientes criterios. En la banda diurna, P1 y K1 muestran una tendencia a aumentar en amplitud y a disminuir en fase, adem6s gracias a la semejanza encontrada entre el promedio vectorial y el aritmético, y a una baja desviación estandar, se puede concluir que estas componentes est6n bien resueltas, no as6 la otra componente de la banda, O1, que se observa que tiene mucho ruido de fondo y una tendencia muy ambigua.

En lo que respecta a la banda semidiurna, se observa poca resoluci6n en N2 y M2, pero mucha estabilidad en S2 y K2. La falta de resoluci6n en N2 podr6a deberse al origen mixto de esta componente.

En general, se puede decir para Guayaquil (r6o Guayas), que las componentes no est6n bien resueltas y que existe mucho ruido de fondo. Ser6a prudente realizar un estudio de las relaciones internas entre constantes, antes de emitir alguna conclusi6n y recomendaci6n respecto, al uso de la informaci6n de esta

estación (Ver Subcapítulo 3.2).

En Posorja (Tabla IX), se interpolaron valores para el año 1976 promediando la información de los años 1975 y 1977, obteniéndose así, todos los parámetros establecidos por Godín. Para el cálculo del coeficiente de correlación y de la pendiente de regresión se tomaron los años del 75 al 73. Para el cálculo del promedio vectorial y el promedio aritmético, se han tomado todos los años, excepto el interpolado.

Es notoria una tendencia positiva de  $S_o$  y  $Z_o$ , asociada a significativos coeficientes de correlación (0.7 y 0.8 respectivamente).

En la banda diurna las componentes no están muy bien resueltas. Se observa una tendencia positiva en la fase de  $O_1$ ,  $P_1$  y  $K_1$ , con un coeficiente de correlación de 0.9 en todas ellas; sin embargo, las amplitudes se mueven dentro de un rango muy estrecho y sin tendencia fija, razón por la cual se sugiere usar el promedio vectorial como representativo en esta banda.



En la banda semidiurna se observa una buena resolución de las componentes. En todas ellas muestran una tendencia positiva, pero asociadas a bajos coeficientes de correlación en N2 y M2. En lo que respecta a las fases, la tendencia no es unánime puesto que N2 y M2 tienen pendiente negativa, mientras que para S2 y K2 es positiva, sin embargo tienen muy buenos coeficientes de correlación (0.9 en todas).

No se puede afirmar de manera categórica la existencia de una tendencia. Para efecto de cálculos (nivel de reducción, predicciones, etc), y gracias a componentes bien resueltas, así como a bajas desviaciones estándar y pendientes, se recomienda el uso de los promedios vectoriales de las constituyentes analizadas.

Para Puerto Marítimo (Tabla X), no se calcularon los coeficientes de correlación ni las pendientes. Se observa una ligera tendencia a aumentar en  $Z_0$  y una magnífica resolución en las componentes de las dos bandas, salvo en la fase de F1 y K1 en que se nota la presencia de ruido. En general, se puede

decir que ésta es una estación muy estable, en la cual se pueden usar indistintamente, para cálculos, los valores computados o el promedio vectorial, aunque se recomienda el último.

### 3.2. ANALISIS DE LAS AMPLITUDES Y FASES DE LAS MAREAS

Es muy poca la literatura existente acerca del comportamiento de la onda de marea, como tal, en el sistema en estudio. Quizás los trabajos más importantes, al respecto, han sido aquellos publicados por Peña (1977), si n embargo, éstos, limitan su área de estudio al río Guayas.

Se extiende aquí, al estero Salado, cierta parte de los conceptos expresados por Peña y se finaliza con la confección de las cartas cotidales de las principales constantes armónicas; éstas últimas consideradas como la forma ideal de sintetizar el comportamiento de las fases y amplitudes de las mareas, en cualquier sistema.

#### 3.2.1. ONDAS ESTACIONARIAS Y ONDAS PROGRESIVAS

Los estuarios se caracterizan por el encuentro de las aguas dulces de los ríos y las



aguas salinas del mar, siendo la mezcla de éstas, su principal factor de clasificación. Al ser la onda de marea, el elemento dinámico más importante en un estuario, la energía asociada a ella, será la responsable del grado de mezcla que éste tenga.

Al no existir la influencia directa de las aguas del río Guayas en el estero Salado, es muy probable que el gasto de la energía de la marea, en tal cuerpo de agua, sea mínimo; esto debe dar lugar a la reflexión de dicha energía con la consiguiente tendencia a la formación de ondas estacionarias o cuasi estacionarias, lo que producirá amplitudes mayores en la cabecera (Puerto Marítimo) y amplitudes menores en la boca del brazo de mar (Posorja), como ya fue observado en el subcapítulo precedente. Sin embargo, una ampliación del rango de marea estará auspiciada también (bajo condiciones que se enuncian seguidamente) por el estrechamiento paulatino del ancho del canal, lo que respondería a la ley de Green (Peña, 1977), que dice que el incremento de amplitud debido a la convergencia del estuario es inversamente proporcional a la raíz cuadrada del ancho.

Para que la ley de Green sea válida, debe cumplirse primeramente que la variación del ancho respecto a la variación de distancia, sea considerablemente menor que la relación ancho - longitud de onda, lo que puede ser expresado así:

$$\delta \times L \ll 1$$

donde,

$\delta$  = Variación de ancho/Variación de distancia

L = Longitud de onda

Peña, reportó que el estrechamiento del canal no es un factor importante en el aumento del rango de la marea en el río Guayas. Si se considera entonces que la morfología del estero Salado es bastante similar, es de esperar un resultado afín.

En el río Guayas, el aumento del ancho y la sección de su cauce desde la cabecera, responde aproximadamente a un comportamiento exponencial; igual situación podría ocurrir en el otro componente del sistema. Para de-

mostrarlo, en la tabla XI se presentan los valores correspondientes a los anchos y secciones de las posiciones en el estero salado presentadas en la figura 25, así como sus respectivos logaritmos naturales. En la figura 26 se muestran las líneas de regresión correspondientes, presentándose también las ecuaciones resultantes y los coeficientes de correlación respectivos, que dan una idea del ajuste de estas líneas a los valores calculados. En esta última figura, se presenta también el valor de  $\delta$  correspondiente al estero salado, que para este caso particular se ha denominado  $\delta_2$ .

Un paso posterior conlleva al cálculo de L para la constituyente principal, es decir la componente semidiurna, sin embargo, para realizar esta determinación, es necesario conocer la profundidad media del canal. Con este objeto, y gracias a la similitud encontrada en las pendientes presentadas en la figura 26, se puede asumir con bastante aproximación, que la relación ancho sección tiende a conservarse. Por lo que se puede calcular, sin incurrir en mucho error, la profundidad media del estero mediante la

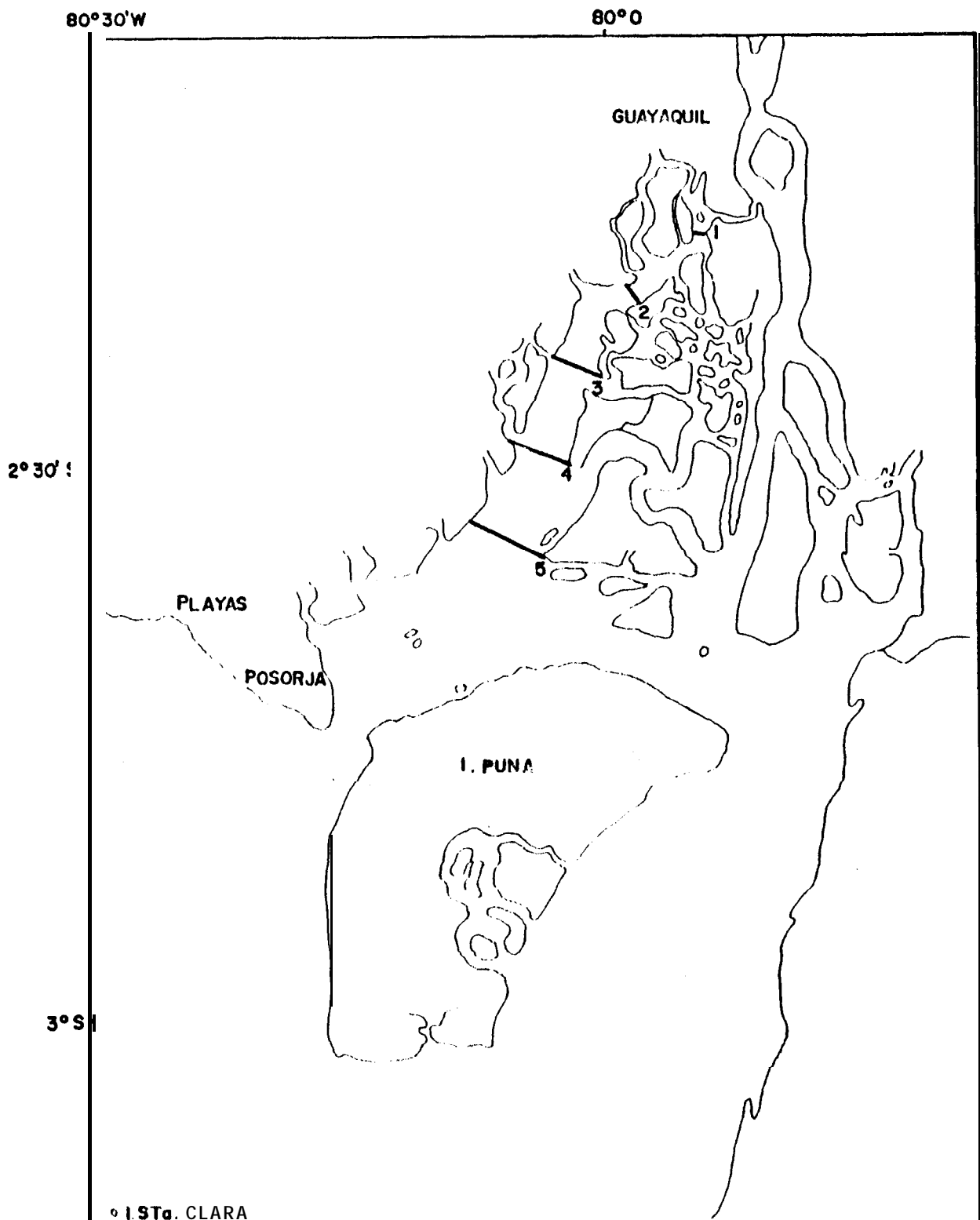
TABLA XI

LISTA DE ANCHOS Y SECCIONES EN EL ESTERO SALADO

POSICION	ANCHO A (m)	Ln A	SECCION S (m <sup>2</sup> )	Ln S
1	500	6.2	5000	8.5
2	1300	7.2	20000	9.9
3	3500	8.2	27500	10.2
4	5000	8.5	38000	10.5
5	7500	8.9	52500	10.9

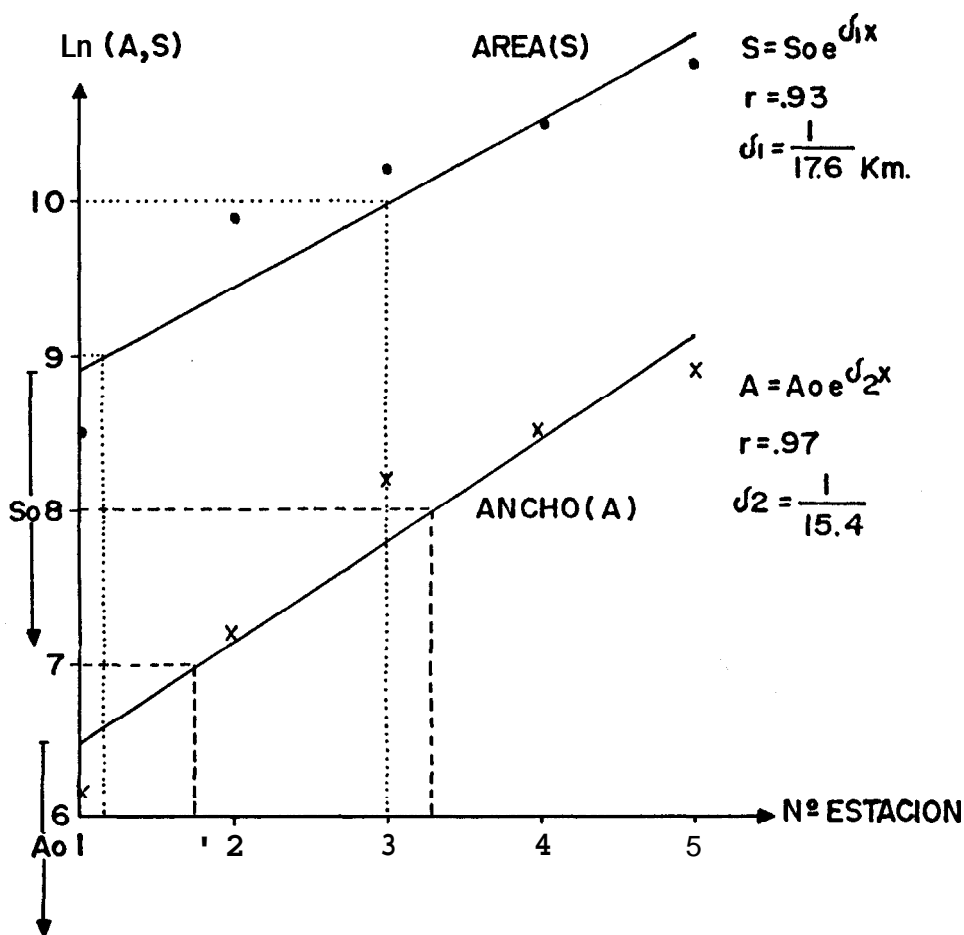
Distancia entre posiciones: 9.8 Kms.

Valores referidos al nivel medio de la marea



o I. Sta. CLARA

FIG. 25.- POSICIONES PARA EL CALCULO DE ANCHOS Y SECCIONES EN EL ESTERO SALADO.



DISTANCIA ENTRE ESTACIONES = 9.8 Kms  
 ECUACIONES OBTENIDA

$$S = 7480 e^{\delta_1 x}$$

$$A = 639 e^{\delta_2 x}$$

FIG. 26. VARIACION DE A Y S RESPECTO A LA CABECERA EN EL ESTERO SALADO.

relación  $S_0/A_0$ , lo que arroja un resultado  $h = 11.7$  m. (referido al MTL).

Sabemos que

$$L = T\sqrt{gh}$$

Luego

$$L = 478 \text{ Km}$$

Podemos ahora verificar la condición de validez de la ley de Green, aplicada al estero Salador

$$\frac{1}{2} \times L = 31$$

Se concluye en base a estos resultados que el efecto del estrechamiento del canal, no contribuye significativamente al aumento de la amplitud de la onda de marea. Sin embargo, tal incremento realmente existe, por tanto es válido considerar que el estero Salador tiene un alto porcentaje de reflexión.

Para demostrar lo anterior, partimos del conocimiento de que el coeficiente de re-

flexión de onda es:

$$X = H_r/H_i$$

Donde,

$H_r$  = altura de la onda reflejada

$H_i$  = altura de la onda incidente

tal que,

$x = 1$              $\rightarrow$  reflexión total

$1 > x > 0$        $\rightarrow$  reflexión parcial

$x = 0$              $\rightarrow$  no hay reflexión

En nuestro caso , la onda oceánica de la marea debe ser considerada como onda incidente puesto que ella es la que perturba el sistema, y se ha tomado a la marea en La Libertad como una buena estimación. Mientras que la marea en Puerto Marítimo ha sido considerada como la suma de la onda incidente con la reflejada.

En la tabla XII, se ha calculado la altura de la marea en las dos posiciones para un día en cuadratura y un día en sicigia, de lo cual se deduce, que para estos casos particulares: ha



TABLA x 1 1

REFLEXION DE LA ONDA OCEANICA DE LA MAREA  
EN LA CABECERA DEL ESTERO SALADO

ESTACION MAREOGRAFICA	AMPLITUD (m)	
	SICIGIA	CUADRATURA
PUERTO MARITIMO	3.70	2.00
LA LIBERTAD	1.95	1.00
<hr/>		
DIFERENCIA ( ONDA REFLEJADA)	1.75	1.00
x SICIGIA	$= 1.75 / 1.95 = 0.9$ (90%)	
x CUADRATURA	$= 1.00 / 1.00 = 1.0$ (100%)	

habido una pérdida del 10% de la energía de la marea en sicigia, producto de la fricción con el fondo; y la reflexión ha sido total en cuadratura. Esto demuestra lo que en principio se había planteado.

La acumulación de energía en el estero Salado debe favorecer el comportamiento estacionario de la marea, para demostrarlo, en las figuras 27 al 30 se han graficado los niveles horarios de la marea (Tabla XIII) de un día completo, en estaciones que abarcan todo el sistema. En ellas se observa el movimiento aproximadamente oscilatorio de la marea en el estero Salado, pero no se aprecia el nodo de este oscilador de cuarto de onda, puesto que el mismo debe encontrarse aproximadamente a 50 Kms al oeste de Posorja, para estar acorde con la longitud de onda previamente calculada; lógicamente dicho nodo estará sujeto también a la marea oceánica.

En lo que respecta a Cascajal, la marea en este canal, co-oscila con la marea entrante por los canales del Morro y Jambelí, observándose una mayor amplitud en su porción Este.

TABLA XIII  
ALTURAS HORARIAS EN LAS ESTACIONES

VARIACION DIURNA DEL NIVEL DEL AGUA EN EL ESTUARIO  
(cms)

FECHA: 18/10/1984 - EPOCA SECA

HORAS	PUERTO EI MARITIMO		#2	POSORJA	CASCAJAL	PUNA	PUNTA DE PIEDRA	GUAYAQUIL
00	108	98	76	42	72	81	97	126
01	b9	<b>58</b>	41	11	<b>38</b>	47	70	121
02	-4	b	-4	-19	-4	-3	24	73
03	<b>-62</b>	-50	-44	-44	-47	<b>-46</b>	-22	13
04	<b>-96</b>	-90	-79	<b>-63</b>	<b>-80</b>	-81	b0	-40
05	-120	-110	-90	<b>-62</b>	-90	-96	-92	<b>-81</b>
06	-120	-101	-77	-45	-72	<b>-81</b>	-120	-118
07	<b>-78</b>	<b>-66</b>	-52	-16	-42	-47	-97	-143
<b>08</b>	-14	-15	-14	14	-2	-1	-48	-112
09	39	35	29	37	40	41	0	-45
10	70	73	<b>61</b>	52	70	73	42	13
11	91	9b	79	54	80	81	72	b3
12	92	90	<b>68</b>	37	<b>68</b>	69	84	98
13	<b>66</b>	59	35	<b>7</b>	33	35	bb	<b>106</b>
14	5	10	-b	-27	-7	-11	<b>28</b>	77
15	-57	-45	-49	-54	-50	-55	<b>-28</b>	24
<b>16</b>	<b>-98</b>	-91	<b>-86</b>	<b>-76</b>	-87	-93	<b>-60</b>	-30
17	-128	-120	-107	<b>-82</b>	-108	-113	-97	-74
<b>18</b>	-143	-127	<b>-102</b>	<b>-68</b>	-100	-105	-126	-114
19	-121	-101	-79	-39	-72	-71	-112	-147
20	-59	-54	-44	-7	-34	-25	<b>-98</b>	<b>-162</b>
21	3	3	-4	22	<b>8</b>	21	-36	-101
22	49	53	41	49	<b>58</b>	<b>65</b>	14	-33
23	<b>85</b>	<b>87</b>	73	<b>65</b>	BB	93	56	29

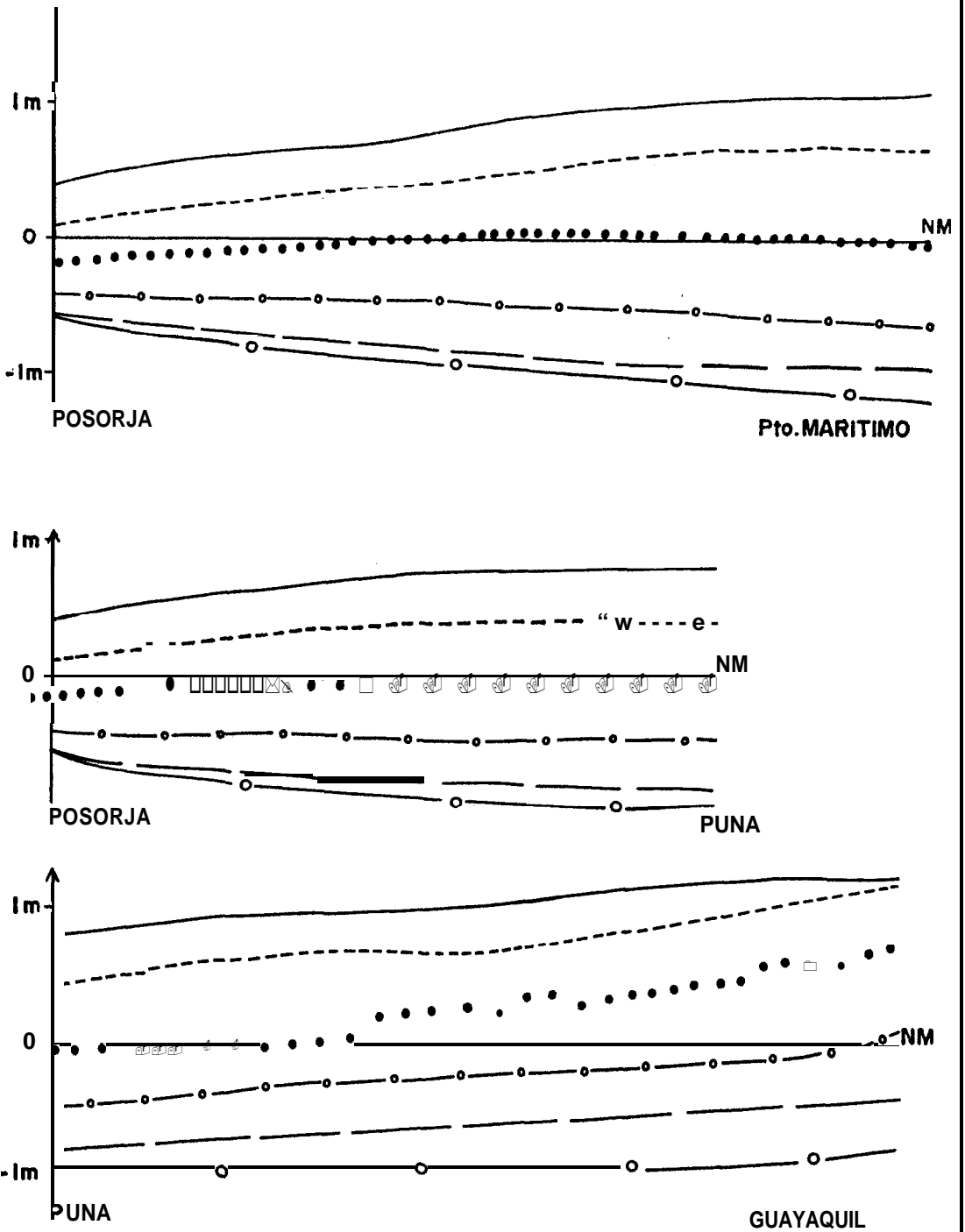


FIG. 27.-BAJADA DE LA MAREA. 00 h00 -05 h00.  
DE 18/10/84

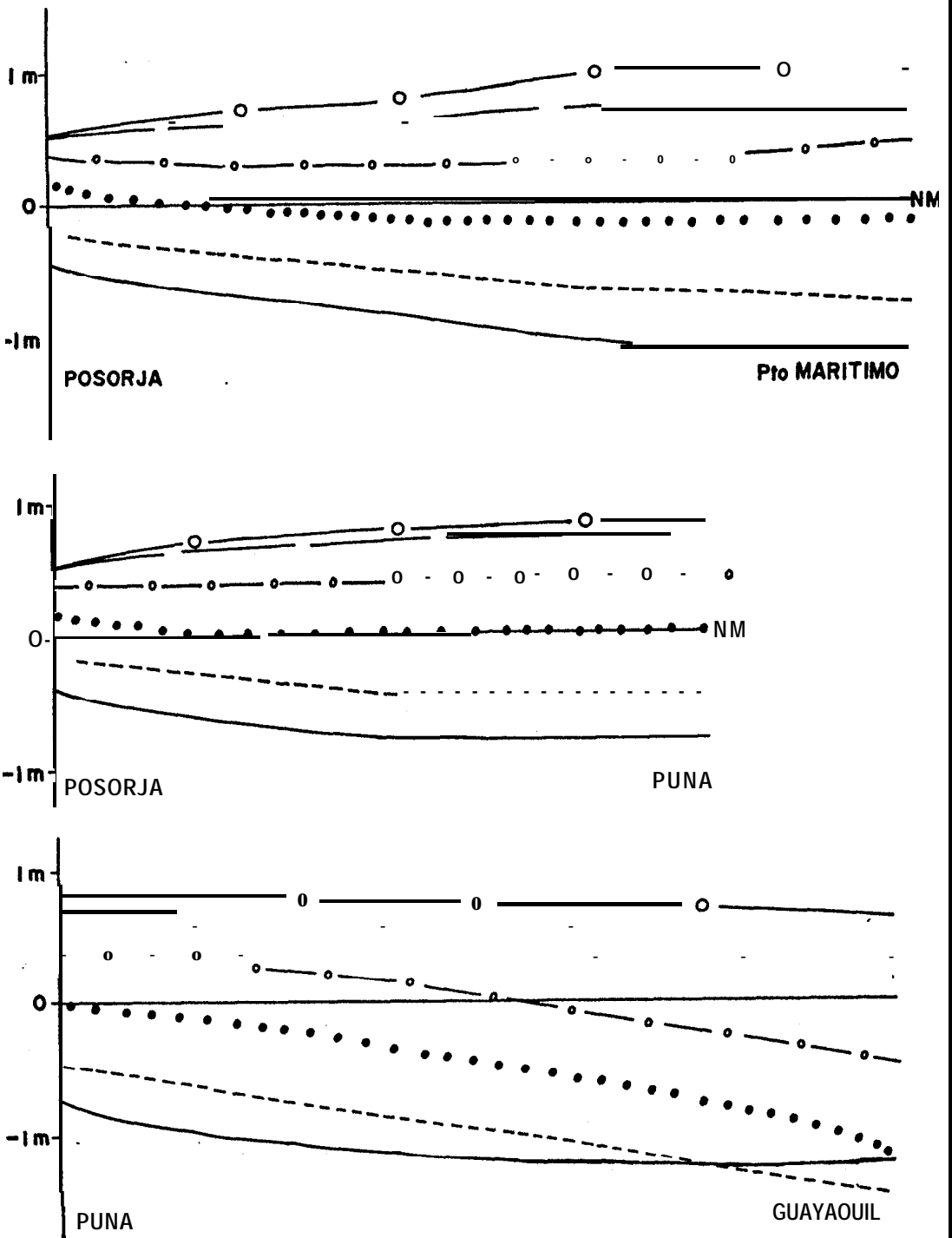


FIG. 28.-SUBIDA DE LA MAREA. 06h00 - 11h00  
DE 18/10/84

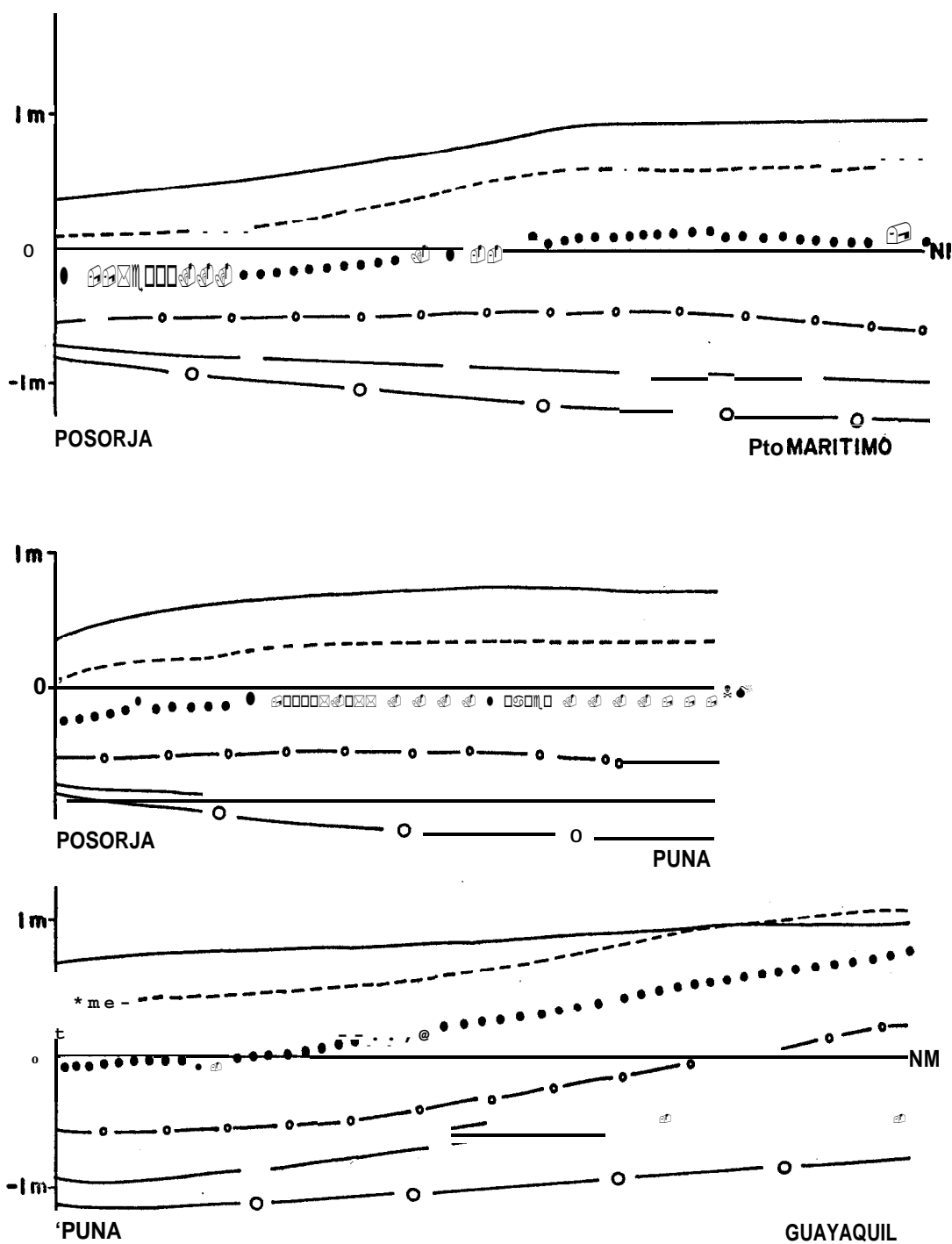


FIG. 29. BAJADA DE LA MAREA EN EL SISTEMA, 12 :h00 -17h00 DE 18/10/84.

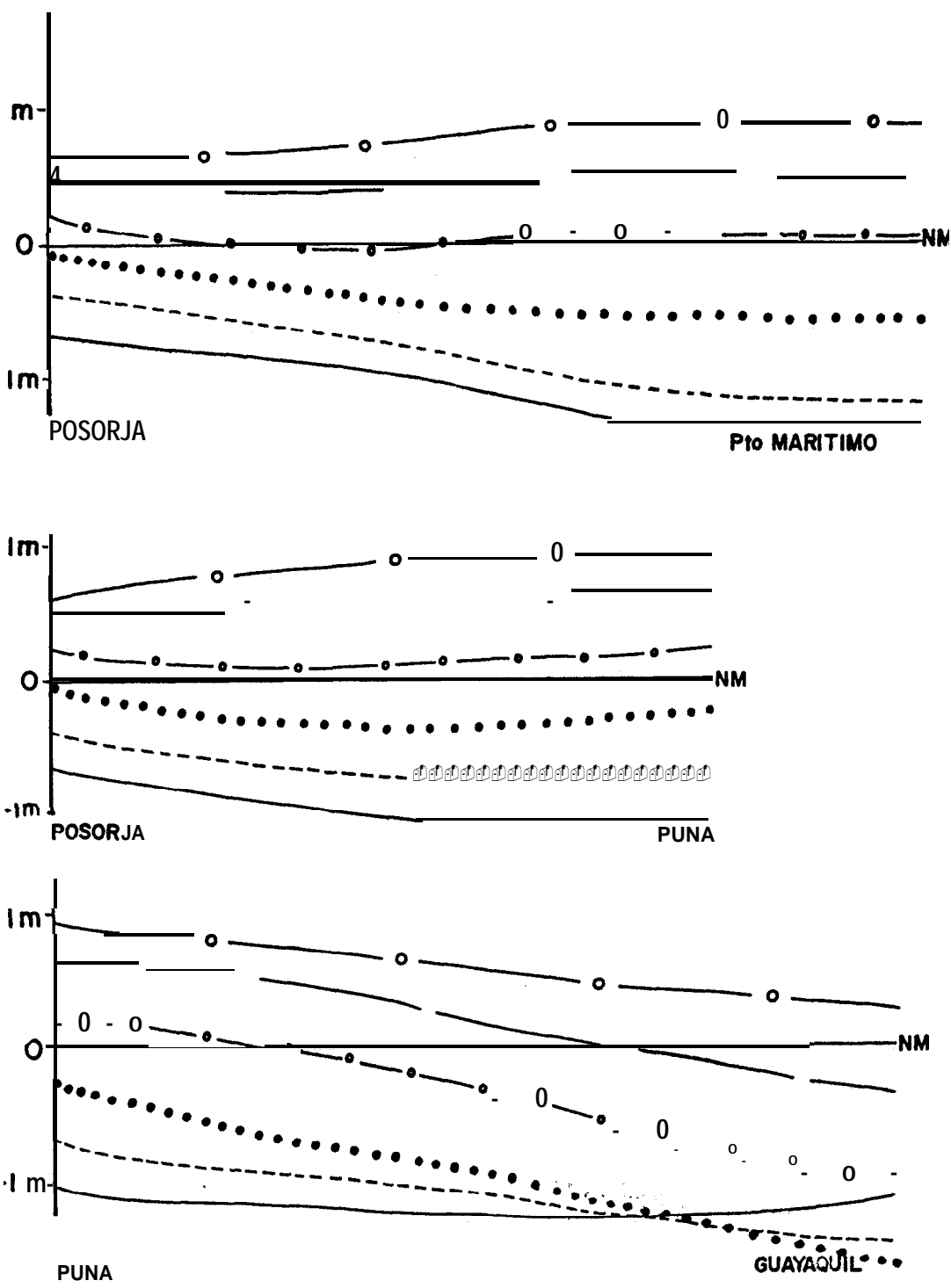


FIG.30.- SUBIDA DE LA MAREA. 18h00 - 23h00.  
DE 18/10/84

Teóricamente, una oscilación de este tipo, esta asociada a menores corrientes horizontales en el área de mayor amplitud, siendo estas mayores en el área de amplitud menor (ver figura 6).

Debido a esta característica del comportamiento de la marea en el canal de Cascajal y el estero Salado, parece ser que el canal del Morro presenta las condiciones ideales para que importantes flujos residuales provenientes del río Guayas salgan a través de él, hacia el océano.

Por otro lado, el patrón presentado por el río Guayas; difiere en mucho de los dos anteriores, puesto que en este sector es preponderante el comportamiento progresivo de la onda, debido al fuerte consumo de la energía de la marea asociada a procesos de mezcla y de fricción, lo cual implica que sea escasa la energía disponible para la reflexión; especialmente en los periodos de mayores descargas del río Guayas, en que una mayor



cantidad de energía es requerida para hacer dichos procesos.



BIBLIOTECA

### 3.2.2. CARTAS COTIDALES

En la confección de cartas cotidales se estima que los procesos son lineales entre estaciones, por lo tanto se pueden realizar interpolaciones y extrapolaciones que permitan graficar líneas de corango y de cofase (líneas cotidales propiamente dichas).

En el océano, las líneas de cofase son generalmente perpendiculares a las de corango y convergen a puntos de anfidromia (de marea nula), los cuales son nodos de grandes ondas estacionarias producidas en subcuencas oceánicas, influenciados a su vez por la fuerza de coriolis. En las zonas costeras, en especial en bahías, canales, estuarios, etc., debido a efectos de la fricción y de la morfología de estos accidentes, las isopletas tienden a alinearse entre sí.

En las figuras 31 a la 36, se observa las cartas correspondientes a las componentes semi diurnas M<sub>2</sub>, S<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> y K<sub>2</sub>, así como las

correspondientes a las componentes diurnas K1 y O1. Para la elaboración de las mismas, se han seguido los criterios establecidos por Godin et al. (1980).

En línea continua se han trazado las curvas de corango y sus valores máximos en cms (sobre el nivel medio), en líneas punteadas las curvas de cofase expresadas en grados y referidas al meridiano central local. En la Tabla XIV, se muestra una lista de las estaciones utilizadas al igual que las constantes armónicas correspondientes. En la Tabla XV, se encuentran las principales relaciones internas entre las constantes de las respectivas estaciones y los valores óptimos de dichas relaciones. Cabe expresar aquí, que cualquier valor que se aparte mucho de las relaciones ideales o que tenga una variación brusca y sostenida al acercarse a una estación es indicativo de un suceso anormal, que estaría relacionado a: procesos de sedimentación, la formación de un punto de anfidromia cercano y/o otros. En definitiva, estos valores sirven para determinar la calidad de una información de mareas.

TABLA XIV (1)  
LISTA DE LAS CONSTANTES ARMONICAS UTILIZADAS

ESTACIONES											
PUERTO MARITIMO											
CTES.	I	H	6	H	6	H	6	H	6	H	6
Zo	I	233.6		229.9		239.6		235.4		243.2	
N2	I	26.6	166	20.2	149	31.6	161	26.8	159	32.6	161
M2	I	156.1	163	148.2	179	158.6	161	165.5	161	156.6	176
S2	I	40.0	246	42.0	237	39.0	246	41.0	244	40.8	240
K2	I	10.9	246	11.4	237	10.6	246	11.2	244	11.1	240
O1	I	5.4	296	3.3	303	2.6	322	2.6	273	3.5	309
P1	I	6.3	16	4.0	332	4.4	7	7.0	5	5.2	346
K1	I	19.0	16	11.9	332	13.2	7	21.0	5	15.6	340
AÑO		1975 I		197511		1978		1779		1984	
EST. PUERTO		06H14		06H06		06H08		06H10		ObH02	
TIPO		SD		SD		SD		SD		SD	
NH SOBRE OH		1563.4									
MHWS AMPL.		4 2 9 . 2		420.1		437.4		432.6			
MHWN AMPL.		349.7		336.1		359.3		350.6			
NR BAJO NH		233. b		229.9		239.0		235.4		243.2	

ESTACIONES											
E 1 ESTERO GRANDE # 2 # 3 C1											
CTES.	I	H	6	H	6	H	6	H	6	H	6
Zo	I	217.4		204.5		1 6 1 . 5		146.9		146.7	
N2	I	25.7	190	24.0	167	23.1	107	23.9	101	12.6	150
M2	I	145.2	202	142.5	179	117.4	158	102.9	152	102.0	1b7
S2	I	36.5	240	29.9	242	1b.5	259	17.4	242	25.1	219
K2	I	9.9	240	6.1	242	4.5	259	4.7	242	b.6	219
O1	I	3.7	333	3.0	309	5.6	307	4.6	327	2.2	286
P1	I	5.3	1	5.3	354	3.7	355	3.4	352	4.6	355
K1	I	1b.0	1	1b.1	354	11.2	355	10.2	352	14.0	355
AÑO		1984		1964		1984		1984		1978	
EST. PUERTO		06H44		ObH06		05H12		04H56		05H36	
TIPO		SD		SD		SD		SD		SD	
NH SOBRE OH.										63.1	
MHWS AMPL.										273.9	
HHWN AMPL.										223. b	
NR BAJO NH		217.4		204.5		161.5		148.9		146.7	

TABLA XIV (2)  
LISTA DE LAS CONSTANTES ARMONICAS UTILIZADAS

ESTACIONES											
POSORJA											
POSORJA INPESCA											
CI ES.	1	H	6	H	6	H	6	H	6	H	6
Zo	I	129.2		131.1		139.0		134.3		140.1	
N2	I	16.5	226	11.4	126	18.0	122	17.2	111	19.1	111
M2	I	89.5	196	69.4	146	91.6	141	88.7	147	90.1	149
S2	I	18.2	173	23.0	193	23.2	197	22.3	193	24.8	200
K2	I	5.0	173	6.5	193	6.3	197	6.1	193	6.7	200
O1	I	2.6	66	3.0	283	1.9	269	3.1	296	6.5	280
P1	I	4.3	226	3.1	340	3.9	352	4.0	345	4.6	333
K1	I	13.0	226	9.3	340	11.9	352	14.5	345	13.8	333
AÑO		1975		1977		1976		1979		1984	
EST. PUERTO		06H07		04H54		04H52		04H51		04H58	
TIPO		SD		SD		SD		SD		SD	
NH SOBRE OH		315.2		314.7		315.4		334.3			
MHWS AMPL.		236.8		244.3		253.8		345.4			
MHWN AMPL.		200.4		196.7		207.4		200.8			
NR BAJO NH		129.2		131.1		139.0		134.3		140.7	

ESTACIONES											
CASCAJAL				PUNA			PUNA PUNTA SALINAS			PUNTA DE PIEDRA	
CTES.	I	H	6	H	G	H	G	H	6	H	6
Zo	I		180.3		207.2		211.3		132.2		223.4
N2	I	28.0	176	22.3	166	32.2	151	19.8	114	28.3	189
M2	I	115.0	193	140.5	183	135.0	165	86.0	124	148.1	211
S2	I	29.4	229	34.9	210	34.6	216	20.7	174	36.9	242
K2	I	8.0	229	9.5	210	9.4	216	5.6	174	10.0	242
O1	I	2.1	0	3.0	344	3.7	316	4.9	284	3.5	347
P1	I	4.1	354	5.1	357	5.0	340	3.6	317	5.1	359
K1	I	12.5	354	15.3	357	15.1	340	11.4	317	15.5	359
AÑO		1964		1980		1984		1976		1964	
EST. PUERTO		06H24		06H02		05H33		04H04		07H01	
TIPO		SD		SD		SD		SD		SD	
NH		SOBRE		OH.		262.6		189.0			
MHWS		AMPL.		302.5		236.9					
HHWN		AHPL.		312.6		197.4					
NR		BAJO	NH	180.3	207.2	211.3	132.2	223.4			

TABLA XIV (3)  
LISTA DE LAS CONSTANTES ARMONICAS UTILIZADAS

ESTACIONES											
GUAYAQUIL RIO GUAYAS											
DURAN AZTRA											
CTES.	I	H	G	H	G	H	G	H	G	H	G
Z0	I	214.9		211.6		239.2		234.0		215.0	
N2	I	15.9	188	25.0	239	34.6	187	29.2	315	20.7	195
H2	I	151.6	122	150.4	236	159.7	212	163.2	180	155.7	217
S2	I	29.4	270	34.8	278	35.3	274	32.8	272	38.7	282
K2	I	8.0	270	9.5	278	9.6	274	0.9	272	10.5	282
O1	I	0.9	216	3.7	25	2.7	345	1.9	286	1.2	3
P1	I	3.6	47	2.9	17	6.0	9	5.3	14	3.4	23
K1	I	10.8	47	8.8	17	18.1	9	1 b.	1	14	23
AÑO		1975		1976		1980		1984		1975	
EST. PUERTO		03H54		07H55		07H11		06H06		03H54	
TIPO		SD		SD		SD		SD		SD	
NH SOBRE OH.						373.6		274.3			
MHWS AMPL.		406.0		404.8		434.2		430.0		406.0	
HHWN AHPL.		347.2		335.2		363.5		364.4		347.2	
NR BAJO NH		214.9		211.6		239.2		234.0			

ESTACIONES											
LA LIBERTAD				PUERTO BOLI VAR				PROHEDIO VECTORIAL			
CTES.	I	H	G	H	G	H	G	H	G	H	G
zo	I			161.1		164.4		159.9			
N2	I	16.6	80	20.6	136	25.0	113	15.9	113	20.1	121
H2	I	76.3	106	102.2	154	102.3	127	100.0	54	76.2	115
S2	I	21.6	150	30.1	176	29.1	174	34.7	145	30.3	164
K2	I	5.9	150	8.2	176	7.9	174	9.4	145	8.2	164
O1	I	3.0	304	1.5	5	4.2	315	4.0	155	0.5	-54
P1	I	3.6	331	5.6	332	4.1	335	3.9	23	4.2	-13
K1	I	10.9	331	17.0	332	12.3	335	11.9	23	12.7	-13
AÑO		1977		1976		1977		1983			
EST. PUERTO				05H00		04H14		02H02			
TIPO		SD		SD		SD		SD			
NH SOBRE OH.								207.4			
HHWS AHPL.				293.4		295.8		294.6			
HHWN AMPL.				233.2		237.6		225.2			
NR BAJO NH				161.1		164.4		159.9			

TABLA xv  
RELACIONES INTERNAS ENTRE CONSTANTES

CONSTANTES ---> ESTACION	N2 M2		S2 M2			K2 S2			O1 K1		PI K1	
	R	DELTA 6	R	DELTA 6	6	R	DELTA 6	6	R	DELTA 6	R	DELTA 6
REL. IDEAL	0.19	-23	0.47	43	0.27	1 A 5	0.71	-20	0.33	-1 A -5		
<b>PTO. MAR.</b>												
1964	0.21	-17	0.26	<b>62</b>	0.27	0	0.22	-39	0.33	0		
P. VECTOR.	0.19	-21	0.26	<b>62</b>	0.27	0	0.21	-59	0.33	0		
PROHEDIO	0.19	-21	0.26	<b>63</b>	0.27	0	0.22	159	0.33	0		
<b>EI 1984</b>												
	0.18	-12	0.25	39	0.27	0	0.23	332	0.33	0		
<b>82 1984</b>	0.20	-51	0.14	101	0.27	0	0.52	-46	0.33	0		
<b>C1 1964</b>	0.12	-17	0.25	52	0.27	0	0.16	<b>-69</b>	0.33	0		
<b>83 1984</b>	0.23	-51	0.17	69	0.27	0	<b>0.48</b>	-25	0.33	0		
E. GRANDE 1984	0.16	-12	0.21	63	0.27	0	0.19	-45	0.33	0		
<b>POSORJA</b>												
1984	0.21	-36	0.26	51	0.27	0	0.47	-52	0.33	0		
P. VECTOR.	0.14	-24	0.26	37	0.27	0	0.26	-37	0.33	0		
PROMEDIO	<b>0.18</b>	-17	0.25	35	0.21	0	0.27	-61	0.33	0		
<b>CASCAJAL 1984</b>												
	0.24	-16	<b>0.26</b>	36	0.27	0	0.17	-353	0.33	0		
<b>PUNA 1984</b>												
	0.24	-15	0.26	50	0.27	0	0.25	-24	0.33	0		
PUNA	0.23	-10	0.24	51	0.27	0	0.43	-34	0.33	0		
<b>PTA. SALI.</b>												
<b>PTO. BOLI. 1977</b>												
	0.24	-15	0.26	46	0.27	0	0.35	-20	0.33	0		
P. VECTOR.	0.26	6	0.40	49	0.27	0	<b>0.04</b>	-41	0.33	0		
PROHEDIO	0.20	9	0.31	53	0.27	0	0.24	-72	0.33	0		
<b>PUNTA DE PIEDRA 1964</b>												
	0.19	-22	0.25	31	0.27	0	0.23	-12	0.33	0		
<b>GUAYAQUIL 1964</b>												
	0.16	135	0.15	92	0.27	0	0.12	272	0.33	0		
P. VECTOR.	0.14'	39	0.28	63	0.27	0	0.12	326	0.33	0		
PROHEDIO	0.17	45	0.21	<b>86</b>	0.27	0	0.17	196	0.33	0		
DURAN 1975	0.13	-17	0.25	<b>66</b>	0.27	0	0.12	-20	0.33	0		
<b>LIBERTAD 1977</b>												
	0.21	<b>-26</b>	0.28	44	0.27	0	0.28	-27	0.33	0		

R: RELACION ENTRE **AMPLITUDES** (sin unidades)      DELTA 6: DIFERENCIA ENTRE FASES (**en** grados)

Bajo tales criterios, se observó que el promedio vectorial tuvo un mejor comportamiento en Fuer ta Marítimo y Posorja, no así en Guayaqui 1 y Puerto Bol ïvar . Para esta última estación, el análisis armónico correspondiente a 1977, presentó las mejores relaciones y por tanto fue utilizado.

En lo que respecta a Guayaquil, la información se comportó de manera muy arbitraria con respecto a los valores típicos, salvo para las relaciones K2 S2 y P1 A1, que se mostraron homogéneas con las demás. Sin embargo, un coherente análisis armónico correspondiente a la cercana estación de Durán (1975), vino a suplir en cierta medida las irregularidades encontradas en la estación Guayaqui 1. Debido a los valores anormales que presenta esta última estación, se considera que debería ser estudiada con mayor profundidad.

#### MAPAS COTIDALES SEMIDIUHNOS

En general, se observa que todas las cartas de esta banda poseen una estructura similar. La onda de marea se alinea de acuerdo a la morfología del Golfo y entra desde el

suroeste, llegando primero a la zona de Cascajal a través del canal del Morro que a través del canal de Jambeli, debido a la longitud de este último.

Es interesante observar que en el estero Salado, las líneas de fase tiendan a ubicarse en una posición paralela a este y aproximadamente perpendicular a las líneas de corango, siendo esta una característica de las ondas estacionarias.

Por el contrario, en el río Guayas se observa una mayor tendencia de las líneas de fase y corango a tener direcciones transversales en el canal, lo cual es propio de los sistemas con ondas progresiva.

En Cascajal, es observada una combinación de los dos casos anteriores.

No se observa en ninguno de los casos, una tendencia a la formación de nodos reales o virtuales.



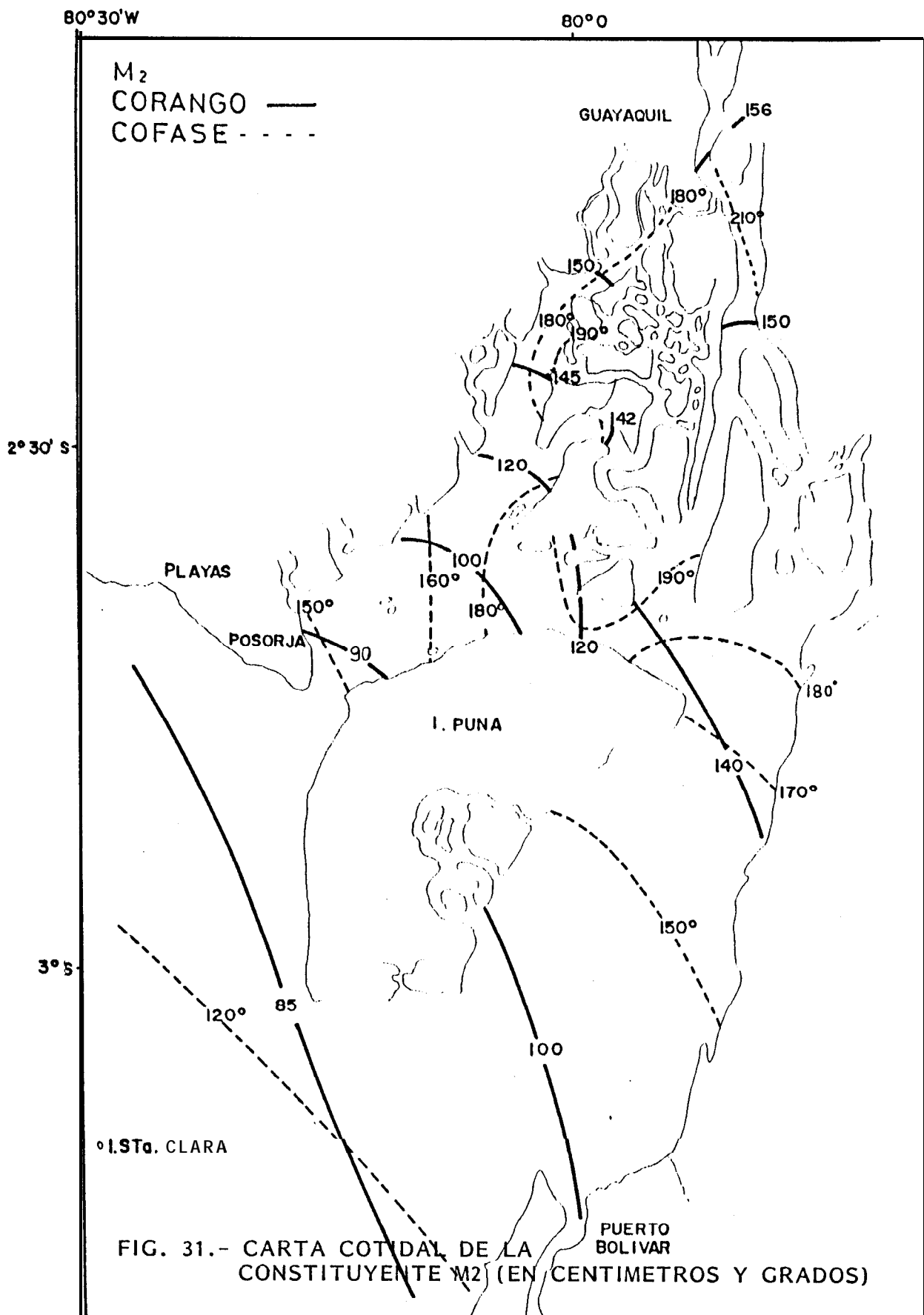


FIG. 31.- CARTA COTIDAL DE LA CONSTITUYENTE M<sub>2</sub> (EN CENTIMETROS Y GRADOS)

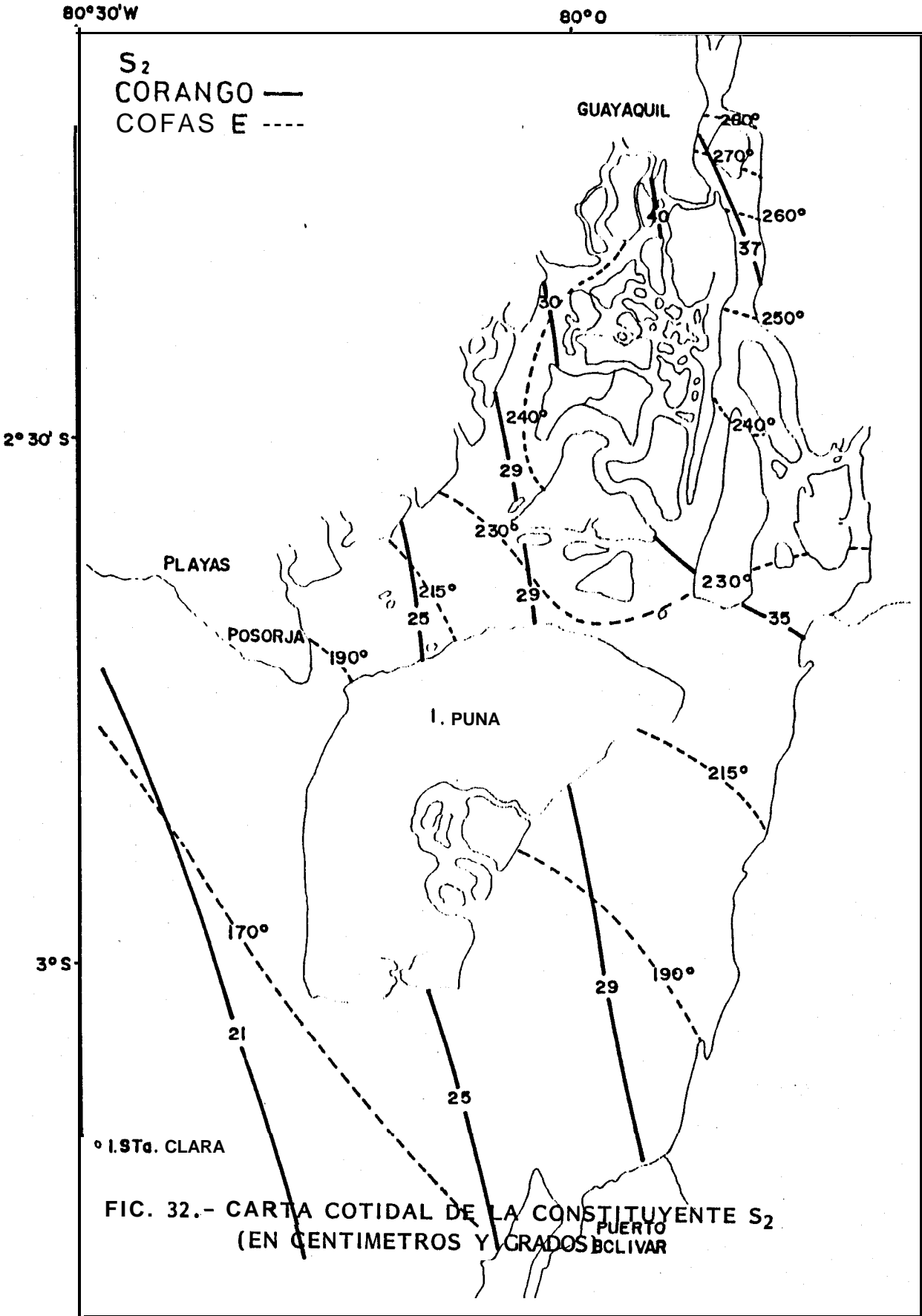


FIG. 32.- CARTA COTIDAL DE LA CONSTITUYENTE S<sub>2</sub>  
(EN CENTIMETROS Y GRADOS)

80°30'W

80°0

N<sub>2</sub>

CORANGO ———

COFASE - - - -

GUAYAQUIL

190°

29

26

150°

160°

180°

PLAYAS

POSORJA

130°

I. PUNA

150°

28

3°S

20

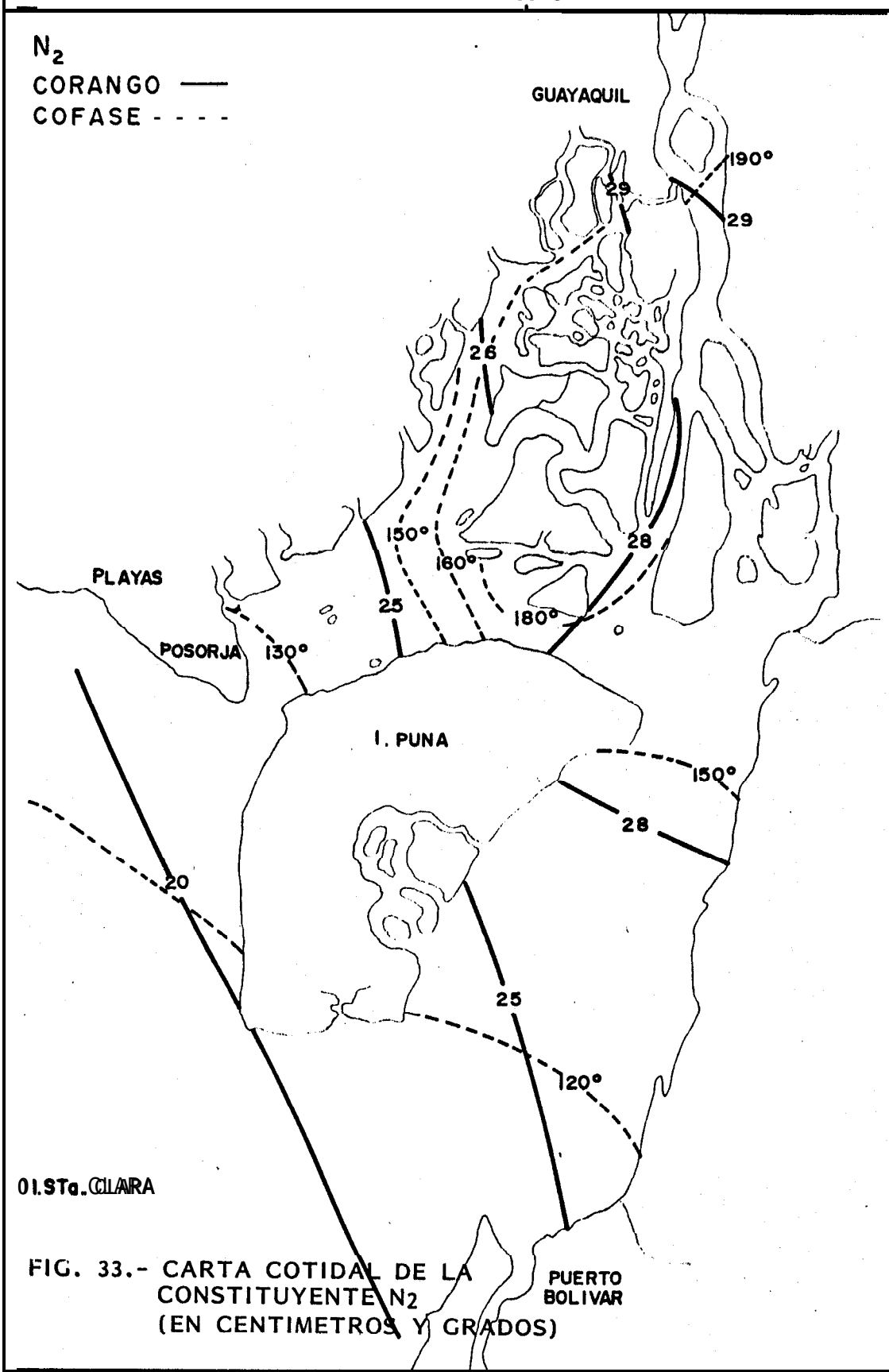
25

120°

01. STa. CLARA

FIG. 33.- CARTA COTIDAL DE LA  
CONSTITUYENTE N<sub>2</sub>  
(EN CENTIMETROS Y GRADOS)

PUERTO  
BOLIVAR



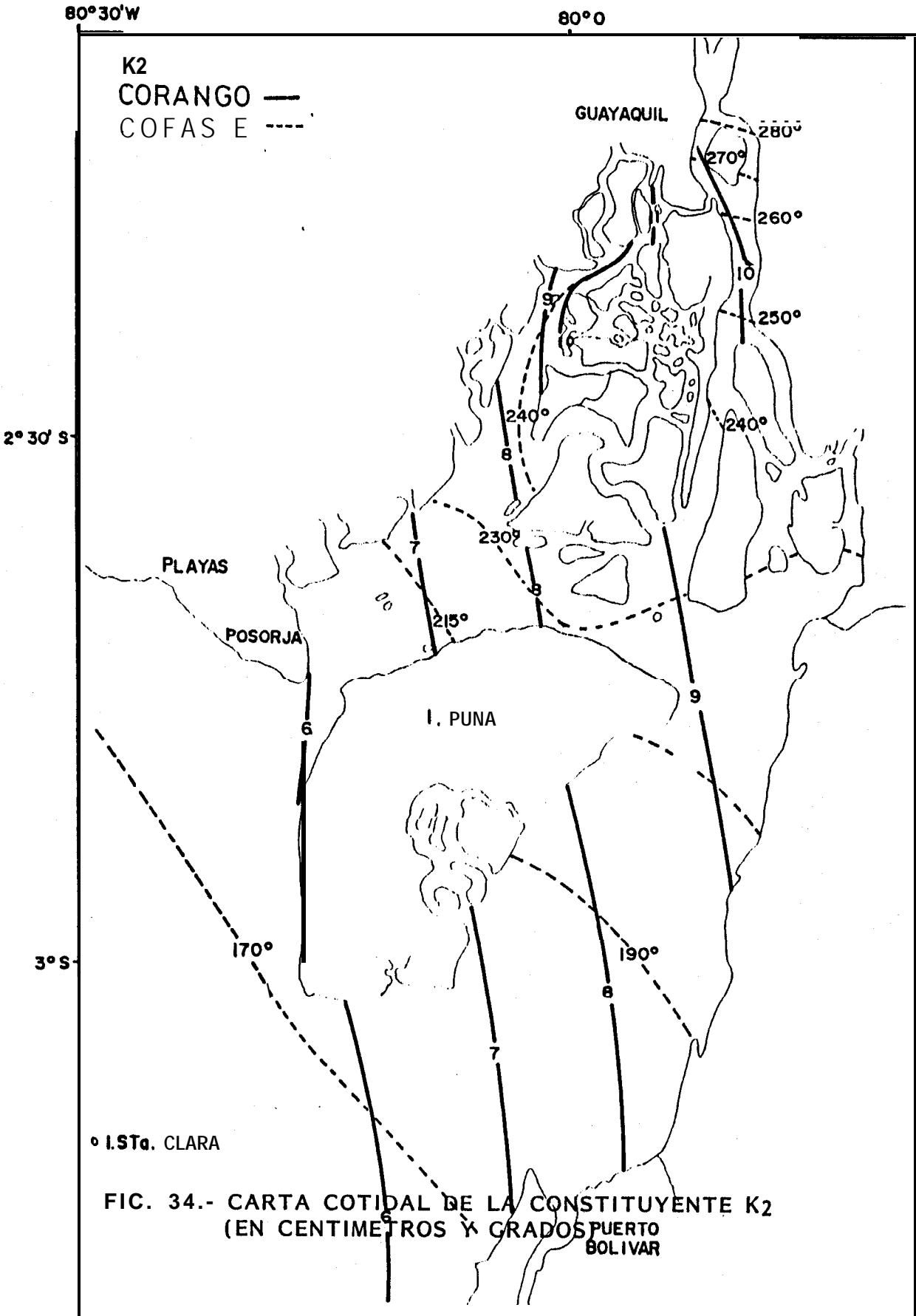


FIG. 34.- CARTA COTIDAL DE LA CONSTITUYENTE K2  
(EN CENTIMETROS Y GRADOS PUERTO BOLIVAR)

## MAPAS COTIDIALES DIURNOS

K1 en general, muestra la misma tendencia de las cartas anteriores, aunque se observa una mayor predisposición a un comportamiento progresivo en el estero Salado, en esta carta diurna, que en sus similares semidiurnas. Se observa además, un desfase mayor a un día en el sector cercano a Guayaquil, con respecto al meridiano central local.

La amplitud de la componente 01 es muy pequeña y puede ser fácilmente enmascarada por el ruido de fondo, pudiendo ser ésta una de las razones para que se observe un máximo en los alrededores de Posorja. El estero Salado se conserva cuasi-estacionario, y el río Guayas aproximadamente progresivo, con un desfase igual a un periodo de 1 a onda en el sector cercano a Durán.

### 3.3. COMPARACION ENTRE LA PREDICCIÓN Y LOS DATOS OBSERVADOS

El desenvolvimiento armónico no produce necesariamente una representación exacta de la marea real, por lo tanto, la diferencia de fases y alturas

80°30'W

80°0

$K_1$

CORANGO ———

CO FASE - - - -

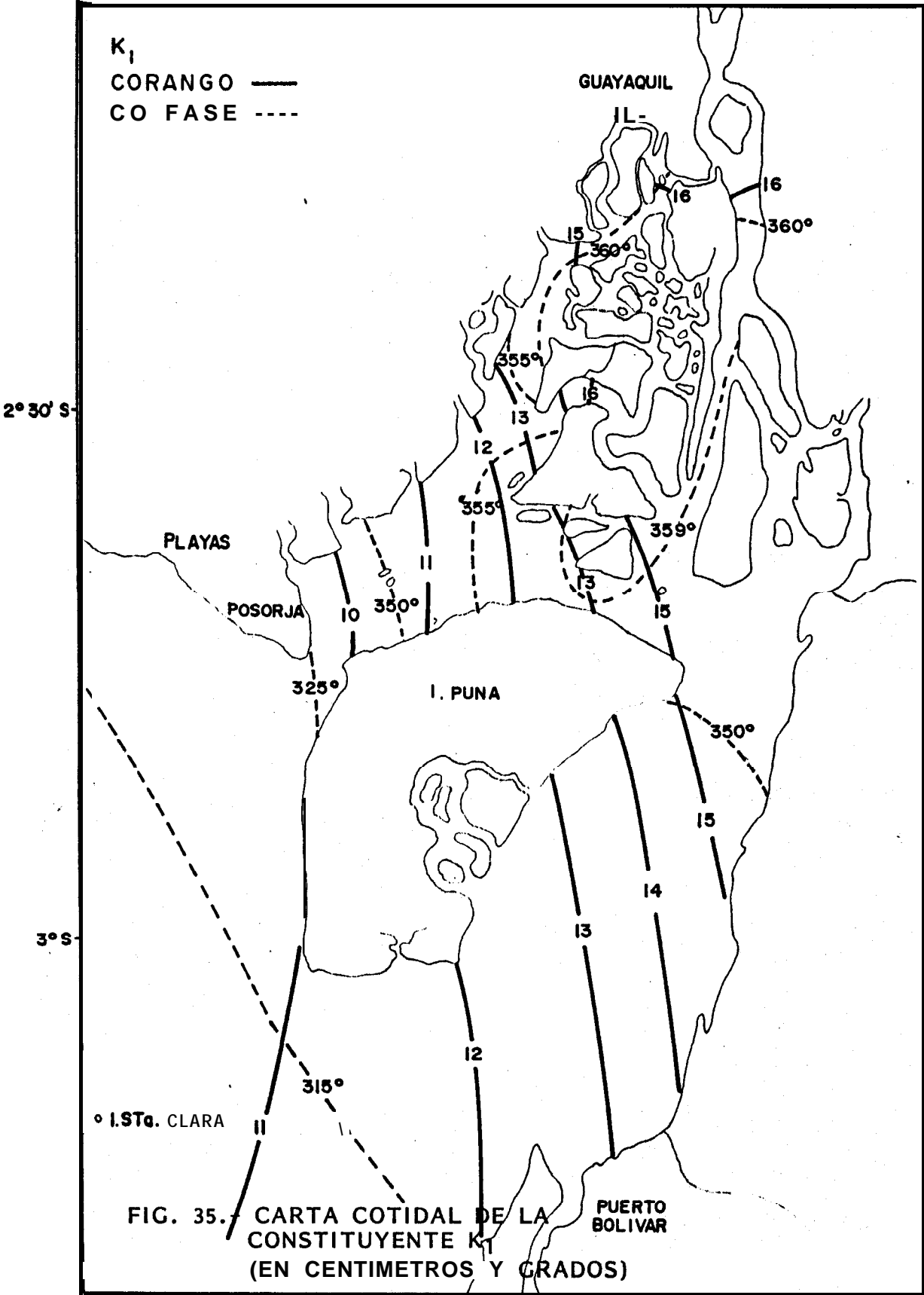


FIG. 35. CARTA COTIDAL DE LA CONSTITUYENTE  $K_1$  (EN CENTIMETROS Y GRADOS)



BIBLIOTECA

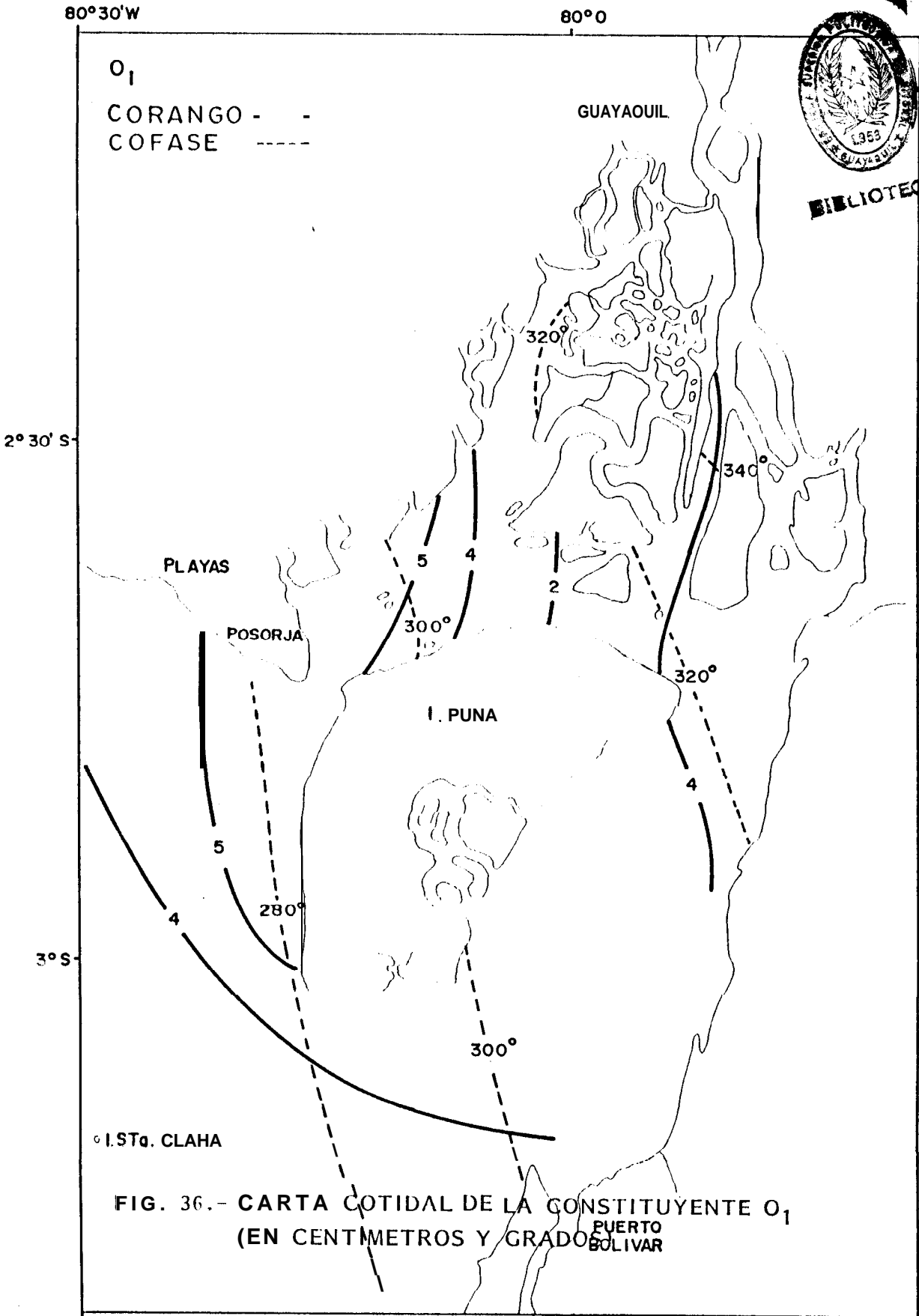


FIG. 36.- CARTA COTIDAL DE LA CONSTITUYENTE O<sub>1</sub>  
(EN CENTIMETROS Y GRADOS)

de la marea predicha respecto de la marea observada, siempre arrojará una parte residual. Tal diferencia no debe ser considerada como un error (Dohler, 1966), puesto que ella se encuentra mas bien relacionada a perturbaciones meteorológicas que pueden producir fenómenos de interacción con la marea astronómica (Lennon, 1967).

En aguas someras y especialmente en estuarios, donde los efectos no-mareales son bien desarrollados (como se vió en el Capítulo I), la representación de la marea en términos de las constituyentes convencionales se torna inadecuada, por lo tanto los "errores" de predicción serán mayores si no se introducen constituyentes adicionales (no astronómicas).

Se ha utilizado aquí, el formato ideado por Dohler (1966) para la presentación de los "errores" anteriormente descritos, calculándose tales diferencias para sucesivas pleamares y bajamares en varias estaciones de interés. En las tablas XVI y XVII se muestran los porcentajes de ocurrencia dentro de distintos rangos de error, de las diferencias en tiempo (desfasamiento) y altura en valor absoluto, de pleamares y bajamares correspondientes a un mes en el periodo húmedo (marzo/86) y un mes en el



TABLA XVI

PORCENTAJES DE OCURRENCIA DE 'ERRORES' DE PREDICCIÓN  
MARZO 1986

ESTACION	PLEAMAR				BAJAMAR			
	Intervalo de tiempo (minutos)							
	0-10	11-20	21-30	>30	0-10	11-20	21-30	>30
PTO. MARITIMO	37	<b>28</b>	23	12	27	23	23	27
PUNA	3	21	29	47	42	<b>12</b>	12	34
GUAYAQUIL	54	23	15	B	43	32	15	10

ESTACION	Intervalo de altura (centimetros)							
	0-10	11-30	31-50	>50	0-10	11-30	31-50	>50
	PTO. MARITIMO	57	40	3	-	52	43	5
PUNA	53	30	15	2	29	34	25	12
GUAYAQUIL	50	<b>48</b>	2	-	<b>18</b>	55	20	<b>7</b>

TABLA XVII

PORCENTAJES DE OCURRENCIA DE 'ERRORES' DE PREDICCIÓN  
SEPTIEMBRE 1986

ESTACION	PLEAMAR				BAJAMAR			
	Intervalo de tiempo (minutos)							
	0-10	11-20	21-30	>30	0-10	11-20	21-30	>30
PTO. MARITIMO	43	<b>26</b>	19	12	31	28	26	15
PUNA	10	12	26	52	22	29	13	36
GUAYAQUIL	41	20	19	20	34	33	<b>18</b>	15

ESTACION	Intervalo de altura (centimetros)							
	0-10	11-30	31-50	>50	0-10	11-30	31-50	>50
	PTO. MARITIMO	54	41	5	-	62	31	7
PUNA	62	36	2	-	41	51	2	-
GUAYAQUIL	48	39	13	-	7	46	32	15

periodo seco (septiembre/86). El compartimiento adecuado seria aquel en que los porcentajes conservan una relación inversa a los rangos de error, debiendo estar la mayor parte (>> 50 %) de las diferencias en el primero de los rangos respectivos, sin embargo, el que esa distribución ocurra o no, dependerá de los factores meteorológico-estacionales, estéricos y de bajo fondo, propios del lugar de ubicación de la estación, así como de los errores reales en los registros.

Observando entonces las tablas mencionadas, notamos que en Puerto Marítimo la distribución de los porcentajes muestra que la predicción de las alturas de pleamares y bajamares es bastante aceptable en los dos periodos, pero es algo deficiente en la predicción de tiempo, especialmente en las bajamares.

Por otro lado, las pleamares en la estación Puná presentan graves desfases en los dos meses estudiados, encontrándose los mayores porcentajes de ocurrencia en el rango correspondiente a errores superiores a los 30 minutos. Las bajamares también se presentan bastante desfasadas, pero en menor medida que las pleamares. En lo que respecta a la predicción de alturas, éstas se muestran en general aceptables, aunque se notan errores apreciables en

Las bajamares (mayores porcentajes dentro del rango de 30 cms de error).

En Guayaquil (Río Guayas), las predicciones son regulares en las alturas de las pleamares, en las bajamares por el contrario éstas se muestran bastante pobres, aunque por lo general, el mayor porcentaje de las diferencias ha caído dentro del rango de 105 30 cms. de error. Observando ahora los desfases, encontramos que estos errores, son mayores en las bajamares, lo que hace un tanto deficiente su predicción.

Como resultado del análisis anterior, se puede deducir que no ha existido una diferencia sustancial entre la distribución de errores de los dos meses estudiados; además se pudo notar que los errores más persistentes, en mayor o menor medida, fueron los relacionados a las bajamares en altura y tiempo, lo que podría hacer pensar en la existencia de una distorsión selectiva del perfil de marea, Peña (1977). Esto afectaría mayormente a los niveles inferiores al nivel medio (NM) de la onda, ya que tal distorsión sería causada principalmente por: la fricción, que actúa con mayor intensidad cuando el nivel del agua es bajo; la presencia de ondas estacionarias (subcapítulo anterior); y el caudal propio

del río, para los casos de Guayaquil y Puná.

En las figuras 37 y 38 se puede apreciar el grado de confiabilidad de las predicciones de las estaciones estudiadas. Debido a que únicamente se han graficado los porcentajes que caen dentro de las diferencias inferiores a los 10 minutos de desfase y 10 centímetros de altura, éstas fácilmente pueden entrar dentro de los errores técnicos propios del manejo de la información de mareas. Se puede concluir de éstos gráficos que la predicción se muestra deficiente en las estaciones principales del sistema para los meses analizados, salvo en la predicción de las alturas de pleamar que se presentan aceptables.

En el tratamiento previo de la información de marea analizada (Capítulo II), se observaron deficiencias (ausencia o errores) en los datos correspondientes a la marea observada en la estación de Puná, por tal razón, cualquier conclusión que se establezca respecto al origen de los residuos previamente discutidos, sería muy subjetiva. Por otro lado, Puerto Marítimo ha demostrado ser una estación muy estable y las predicciones obtenidas, bastante razonables; sin embargo, éstas últimas son realizadas por un método no-armónico y muy simple, que únicamente explota la repetitividad de las mareas astronómicas

MAREA OBSERVADA MENOS MAREA PREDICHA

MARZO 1986

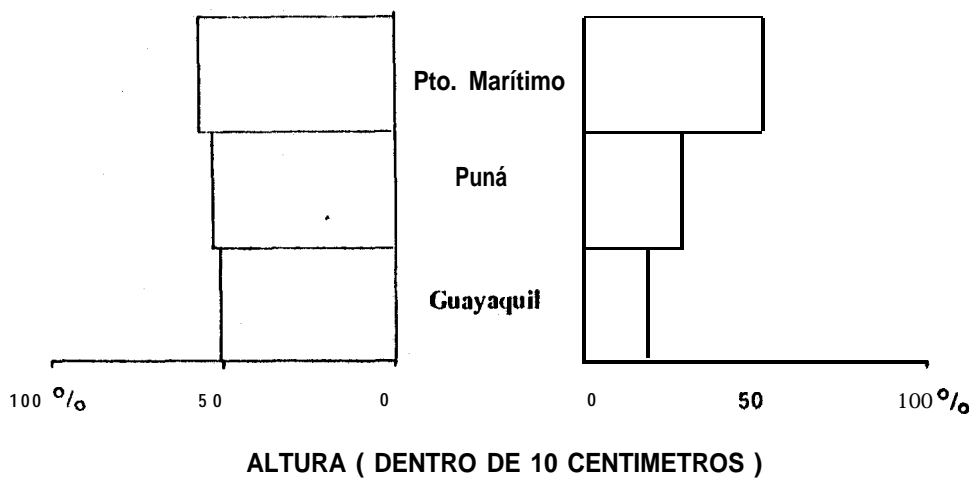
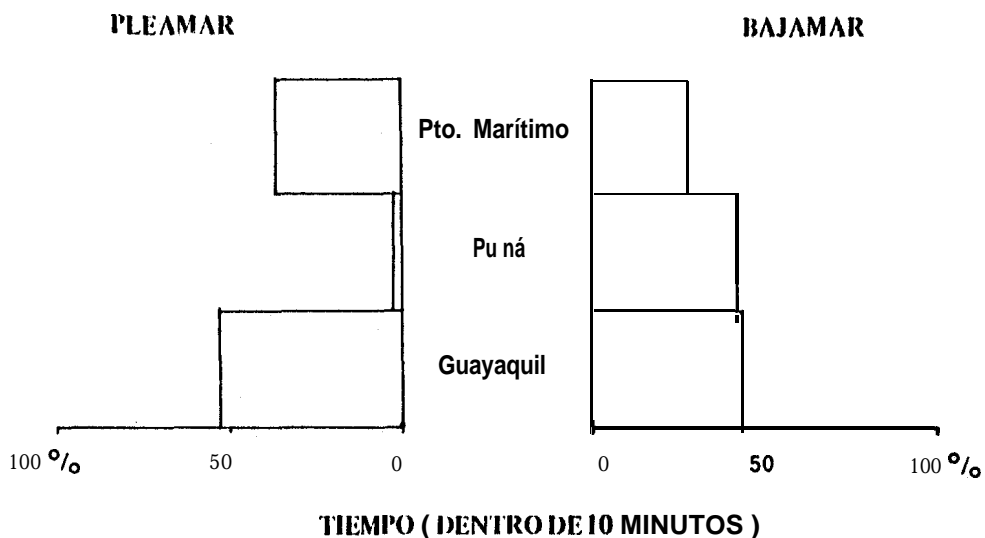


FIG. 37. CONFIABILIDAD DE LAS PREDICIONES (EN PORCENTAJE) EN VARIAS ESTACIONES DEL SISTEMA. MARZO 1986

MAREA OBSERVADA MENUS MAREA  
PREDICHA  
SEPTIEMBRE 1986

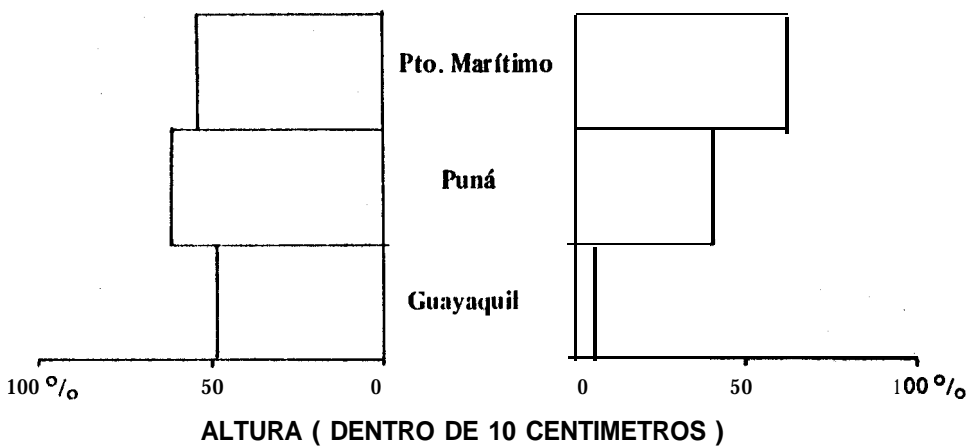
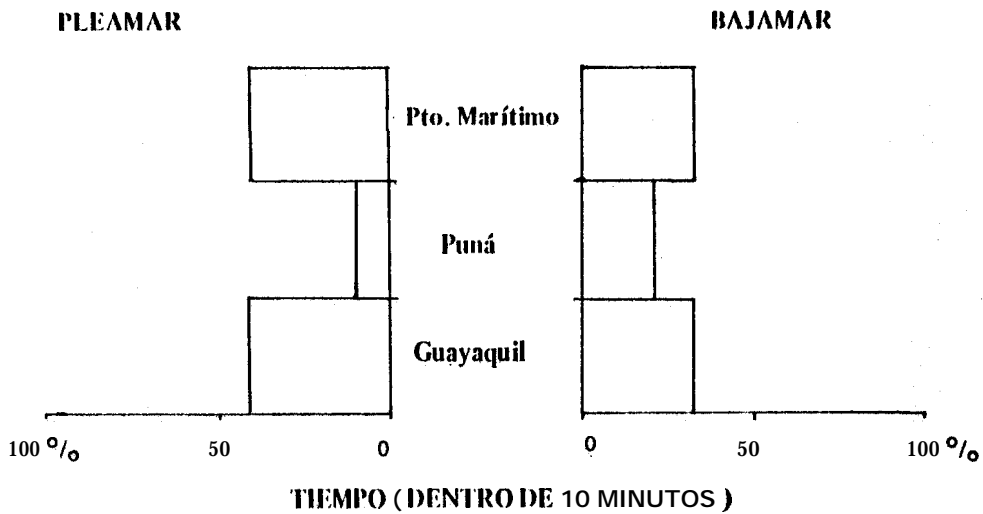


FIG.38. CONFIABILIDAD DE LAS PREDICIONES (EN PORCENTAJE) EN VARIAS ESTACIONES DEL SISTEMA. SEPTIEMBRE 1986

después de 18.6 años de observaciones, por tanto resultaría un poco parcializado establecer a priori el origen de las diferencias halladas, puesto que los factores meteorológico-estacionales, friccionaltes, y otros que pudieron influir en la marea hace 18.6 años, no necesariamente serán los mismos de ahora.

En lo que respecta a Guayaquil (Río Guayas), la información de la marea real obtenida de esta estación es muy adecuada, sin embargo la predicción no es muy eficiente debido a múltiples factores que serán tratados más adelante. A pesar de eso, se ha realizado un análisis adicional de las diferencias entre marea observada y marea predicha que abarca toda la información de pleamares y bajamares correspondientes al año 1986 (Tablas XVIII y XIX). Se aprecia en tales tablas, que las predicciones en tiempo de las pleamares mensuales son aceptables puesto que un mayor número de ocurrencias coinciden con el rango de confiabilidad (0-10 minutos); en lo que respecta a las bajamares las mayores ocurrencias ocupan generalmente el primer rango, sin embargo, en los cuatro primeros meses se observa una tendencia a ocupar los dos rangos iniciales, lo que parece indicar que los desfases de bajamar son más significativos en la época húmeda. Por otro lado,

TABLA XVIII  
 ERRORES DE TIEMPO EN LA ESTACION GUAYAQUIL  
 AÑO 1986

(minutos)

DI FERENCIA = MAREA OBSERVADA - MAREA PREDICHA

PLEAMAR

BAJAHAR

PLEAMAR								BAJAHAR								
0-10	11-20	21-30	>30	DIF.	MEDIA	DIF. MAX.			0-10	11-20	21-30	>30	DIF.	MEDIA	DIF. MAX.	
				x/n	x /n	+	-						x/n	x /n	+	-
27	16	6	11	1	16	51	-53	ENE	14	30	10	6	-2	18	49	-39
25	13	6	10	-9	17	52	-46	FEB	20	15	8	11	0	19	44	-72
32	14	9	5	-8	12	54	-37	MAR	26	19	9	6	-8	15	20	-76
23	17	6	9	-11	16	20	-58	ABR	19	18	8	10	-9	18	21	-68
35	13	6	1	-6	10	20	-31	MAY	24	13	15	3	-12	14	12	-36
21	16	7	9	6	18	78	-20	JUN	16	9	18	11	-9	20	48	-44
46	11	2	1	2	8	48	-26	JUL	44	13	3	0	-2	8	23	-24
15	22	17	6	11	18	45	-26	AGO	28	21	7	4	-6	14	19	-56
22	11	10	11	3	18	41	-44	SEP	19	18	10	8	-2	17	35	-49
41	12	4	3	0	10	34	-32	OCT	36	11	6	7	-7	13	32	-42
40	15	2	1	0	10	67	-25	NOV	37	12	9	0	-6	10	14	-30
43	12	1	1	0	8	34	-17	DIC	40	15	2	0	-4	7	14	-27
371	172	76	68	-1	13	78	-58	ANUAL	323	194	105	66	-6	14	49	-76

-NUMERO DE OCURRENCIAS-

-NUMERO DE OCURRENCIAS-



TABLA XIX  
ERRORES DE ALTURA EN LA ESTACION GUAYAQUIL  
AÑO 1986

(cms)

DIFERENCIA = MAREA OBSERVADA - MAREA PREDICHA

FLEAMAR

BAJAMAR

FLEAMAR								BAJAMAR								
0-10	11-30	31-50	>50	DIF.	MEDIA	DIF.	MAX.	0-10	11-30	31-50	>50	DIF.	MEDIA	DIF.	MAX.	
				x/n	x /n	+	-					x/n	x /n	+	-	
24	20	9	7	20	30	70	-30	ENE	13	16	20	11	40	40	80	-
8	23	11	12	40	40	80	-	FEB	0	7	15	32	60	60	110	-
29	29	1	0	20	20	50	-	MAR	11	32	12	4	30	30	90	-10
17	31	7	0	20	20	40	-20	ABR	3	25	17	10	40	40	70	-
21	28	7	0	20	20	40	-	MAY	1	17	29	10	40	40	70	-
12	20	14	7	30	30	80	-	JUN	0	12	22	19	50	50	100	-
0	4	41	15	50	50	90	-	JUL	0	0	13	47	60	60	170	-
9	25	18	8	40	40	80	-30	AGO	0	3	12	45	70	70	110	-
26	21	7	0	20	20	50	-10	SEP	4	25	17	8	40	40	80	-
17	37	4	2	20	20	80	-90	OCT	7	33	16	4	30	30	90	-
6	49	3	0	20	20	40	-	NOV	2	34	21	1	30	30	60	-
35	22	0	0	10	10	30	-10	DIC	5	45	8	0	20	20	40	-
204	309	122	51	30	30	90	-90	ANUAL	46	247	202	191	40	40	170	-

-NUMERO DE OCURRENCIAS-

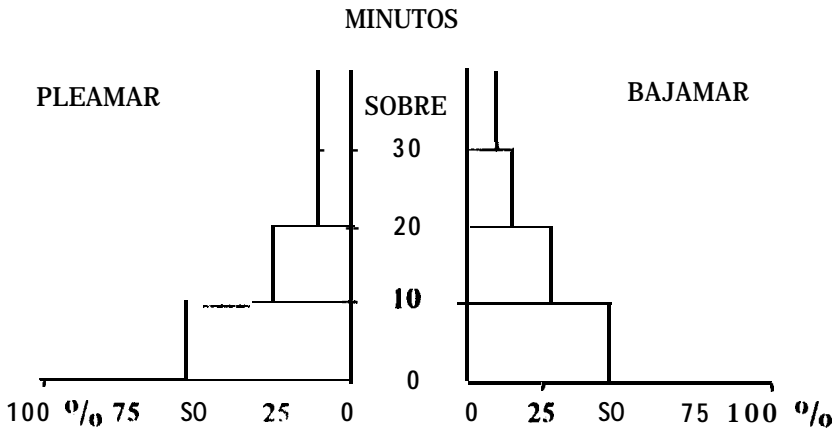
-NUMERO DE OCURRENCIAS-

las alturas de pleamar presentan errores muy fuertes a lo largo de todo el año puesto que las mayores ocurrencias caen en el rango de 11-30 centímetros, sin embargo es la predicción de bajamares la más irregular puesto que los errores son en la mayoría del orden de los 30-50 cms o más. Observando ahora las figuras 39 y 40, correspondientes a la distribución de los promedios anuales de los residuos en distintos rangos de error, y de las diferencias medias y máximas (positivas y negativas), se puede concluir que es la predicción de alturas la que ofrece menos seguridad, y de ellas, la de bajamares es la más deficiente, puesto que los residuos medios mensuales de las pleamares se encuentran movidos hacia el lado positivo en cerca de 25 centímetros, y para las bajamares en aproximadamente 50 centímetros. Resulta también interesante notar un comportamiento oscilatorio de los residuos de tiempo y altura, con un período aproximada entre 5 y 6 meses, lo que podría estar relacionado a cambios estacionales.

#### 3.4. EFECTO DE LOS CAUDALES DE LOS RIOS BABAHOYO Y DAULE , SOBRE EL PATRON MAREOGRAFICO EN EL AREA DE ESTUDIO

La acción de las descargas sobre el comportamiento de las mareas en áreas sujetas a regímenes de ríos.

TIEMPOS OBSERVADOS MENOS PREDICHOS  
GUAYAQUIL.(RIO GUAYAS) 1986



DIFERENCIAS MAXIMAS, MEDIAS Y MINIMAS

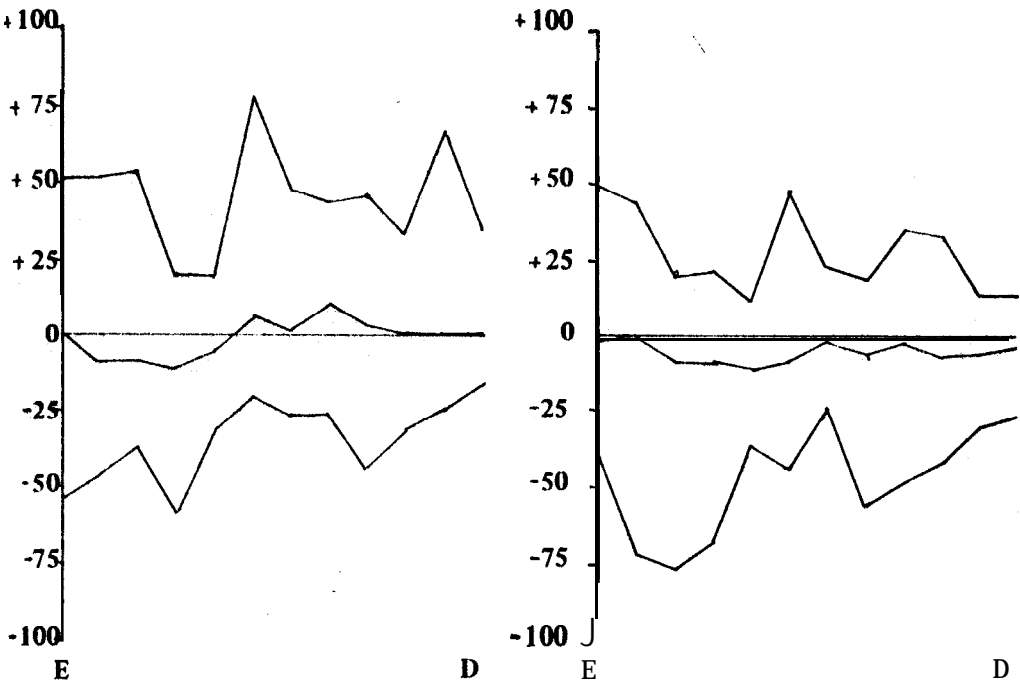


FIG. 39. DISTRIBUCION DE "ERRORES" DE TIEMPO EN LA PREDICION DE LA ESTACION GUAYAQUIL. AÑO 1986.

ALTURAS OBSERVADAS MENOS PREDICIAS  
GUAYAQUIL (RIO GUAYAS) 1986

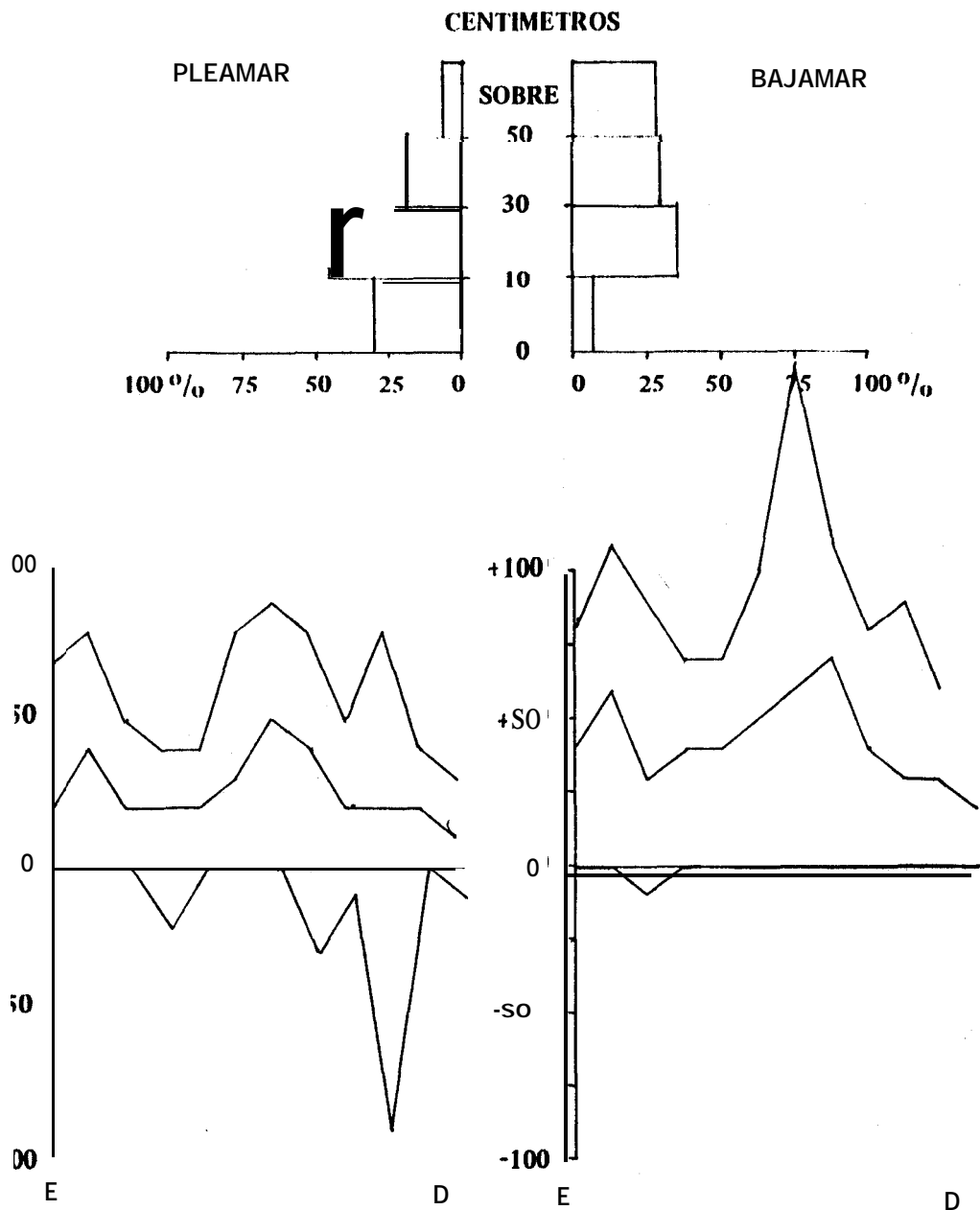


FIG. 40. DISTRIBUCION DE "ERRORES" DE ALTURA EN LA PREDICION DE LA ESTACION QUAYAQUIL. AÑO 1986

así como su efecto sobre las predicciones, han sido estudiados entre otros por Godin (1967), Lennon (1967), Peña (1977), Godin (1985); ellos se han planteado el problema desde múltiples perspectivas, obteniendo variadas respuestas a sus incógnitas. Así, Godin (1985) encontró que una variación diaria de la descarga ocasiona irregularidades significativas en el estado de la marea, estableciendo que los aumentos en las descargas producen bajo ciertas condiciones dinámicas, aumentos o en su defecto amortiguaciones de la amplitud de la marea, así como una aceleración (desaceleración) o viceversa de las pleamares (bajamares).

Vale resaltar que en el área de interés de este trabajo y específicamente en el río Guayas, no existen los instrumentos necesarios para la medición de los caudales, mas bien, éstos deben ser calculados mediante la suma de los aportes de sus principales tributarios, los ríos Daule y Babahoyo. Este último es a su vez obtenido gracias a la cuantificación total de las descargas de los ríos San Pablo, Catarama y Vinces. Si se menciona además que el muestreo de cada uno de éstos ríos se realiza únicamente 2 veces al día, se puede concluir que una apreciación de la variación diaria del caudal del río Guayas, no es del todo real, por tal razón

resulta más significativa la obtención de los promedios mensuales de las descargas; esto se aprecia en la Tabla XX, en la que se incluyen además las respectivas anomalías normalizadas. Se observa de esta tabla, como era de preverse, una marcada variación estacional de la descarga; es de esperarse, sin embargo, que en la estación seca (Invierno del Hemisferio Sur) la descarga no ofrezca variaciones diurnas significativas, no así en el período húmedo, dependiente directo de las precipitaciones ocurridas en la extensa área de la cuenca, en el que se observarían mayores variaciones diurnas, afectando significativamente el comportamiento progresivo o estacionario de la onda de marea.

Puede demostrarse adicionalmente que la descarga de la marea puede superar ampliamente a la descarga del río; esto permite establecer que la velocidad (en función del tiempo) del flujo de la marea supera a la del río. Considerando aquello, el río Guayas puede ser incluido dentro de los sistemas de "aguas abajo" en los cuales predomina el comportamiento progresivo (Godin, 1985). Efectivamente, en la figura 41 se observa la evolución progresiva del perfil temporal de la marea desde Puná hasta Guayaquil, lo que comprueba además lo establecido en el subcapítulo 3.2.

TABLE XX

SERIE DE TIEMPO: DESCARGA RIOGUAYAS  
M3/S

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1971	412.3	1628.9	2959.8	1642.0	485.2	254.9	170.1	115.0	111.2	88.9	73.0	116.5
1972	662.5	1643.3	2575.1	1914.3	907.4	1537.8	771.7	300.1	193.6	162.0	137.4	582.8
1973	1721.9	2601.1	2191.1	2831.0	1566.0	612.2	367.0	206.1	172.2	140.8	108.7	115.3
1974	273.8	1270.6	1536.9	655.4	791.5	279.5	163.0	109.3	87.9	81.9	69.8	219.7
1975	1307.7	2730.9	2900.2	2300.9	847.9	519.0	299.1	183.7	136.9	117.1	97.4	121.5
1976	1164.9	2580.6	2766.6	2990.8	1643.6	704.7	366.0	219.8	157.2	105.4	106.6	192.9
1977	643.7	1299.2	2265.1	1482.8	665.8	364.5	202.9	128.7	90.7	79.5	54.7	90.0
1978	441.1	1333.8	1344.4	1772.3	978.1	319.3	172.9	106.5	80.9	59.4	48.1	60.6
1919	268.4	850.5	1551.8	1259.3	459.4	102.4	168.1	104.0	89.4	76.7	50.1	49.8
1980	166.9	1091.4	711.2	1930.4	913.2	404.9	181.5	101.6	61.4	63.7	57.4	70.3
1981	122.0	1611.2	1967.5	1397.1	418.9	176.6	128.1	86.2	75.5	55.6	54.0	65.6
1982	470.1	1171.9	775.4	861.0	550.8	228.5	124.8	80.3	57.5	194.9	1227.7	2327.6
		2842.2	2813.5	2938.6	2337.9	1915.1	1536.8	883.2	820.8	431.1	317.7	602.7
1983	3227.5	2030.7	2524.4	1703.8	965.2	392.4	260.0	174.9	142.9	145.2	213.9	385.3
FROM	818.47	1763.31	2063.07	1834.26	966.50	572.27	350.85	199.96	162.72	128.73	186.90	356.97
S.D.	803.14	647.76	738.95	698.18	521.10	497.06	366.30	198.84	187.01	93.09	297.70	575.21

ANOMALIAS NORMALIZADAS

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1971	-0.51	-0.21	1.21	-0.28	-0.92	-0.64	-0.49	-0.43	-0.28	-0.43	-0.38	-0.42
1972	-0.19	-0.19	0.69	0.11	-0.11	1.94	1.15	0.50	0.17	0.36	-0.17	0.39
1973	1.12	1.29	0.17	1.43	1.15	0.08	0.04	0.03	0.05	0.13	-0.26	-0.42
1974	-0.68	-0.76	-0.71	-1.69	-0.34	-0.59	-0.51	-0.46	-0.40	-0.50	-0.39	-0.26
1975	0.61	1.49	1.13	0.67	-0.23	-0.11	-0.14	-0.08	-0.14	-0.12	-0.30	-0.41
1976	0.43	1.26	0.95	1.66	1.30	0.27	0.04	0.10	-0.03	-0.25	-0.27	-0.29
1977	-0.22	-0.72	0.27	-0.50	-0.58	-0.42	-0.40	-0.36	-0.39	-0.53	-0.44	-0.46
1978	-0.47	-0.66	-0.97	-0.09	0.02	-0.51	-0.49	-0.47	-0.44	-0.74	-0.47	-0.50
1979	-0.68	-1.41	-0.69	-0.82	-0.97	-0.54	-0.50	-0.48	-0.39	-0.56	-0.46	-0.53
1980	-0.81	-1.04	-1.83	0.14	-0.10	-0.34	-0.46	-0.49	-0.54	-0.70	-0.43	-0.50
1981	-0.87	-0.23	-0.13	-0.63	-1.05	-0.80	-0.61	-0.57	-0.47	-0.79	-0.45	-0.51
1982	-0.43	-0.91	-1.74	-1.39	-0.80	-0.69	-0.62	-0.60	-0.56	0.71	3.50	3.43
1983	3.00	1.67	1.02	1.58	2.63	2.70	3.24	3.44	3.52	3.25	0.44	0.43
1984	-0.30	0.41	0.62	-0.11	0.00	-0.36	-0.25	-0.13	-0.11	0.18	0.09	0.05

# PERFIL TEMPORAL DE LA MAREA

ESTACIONES: RIO GUAYAS - 18/10/1984

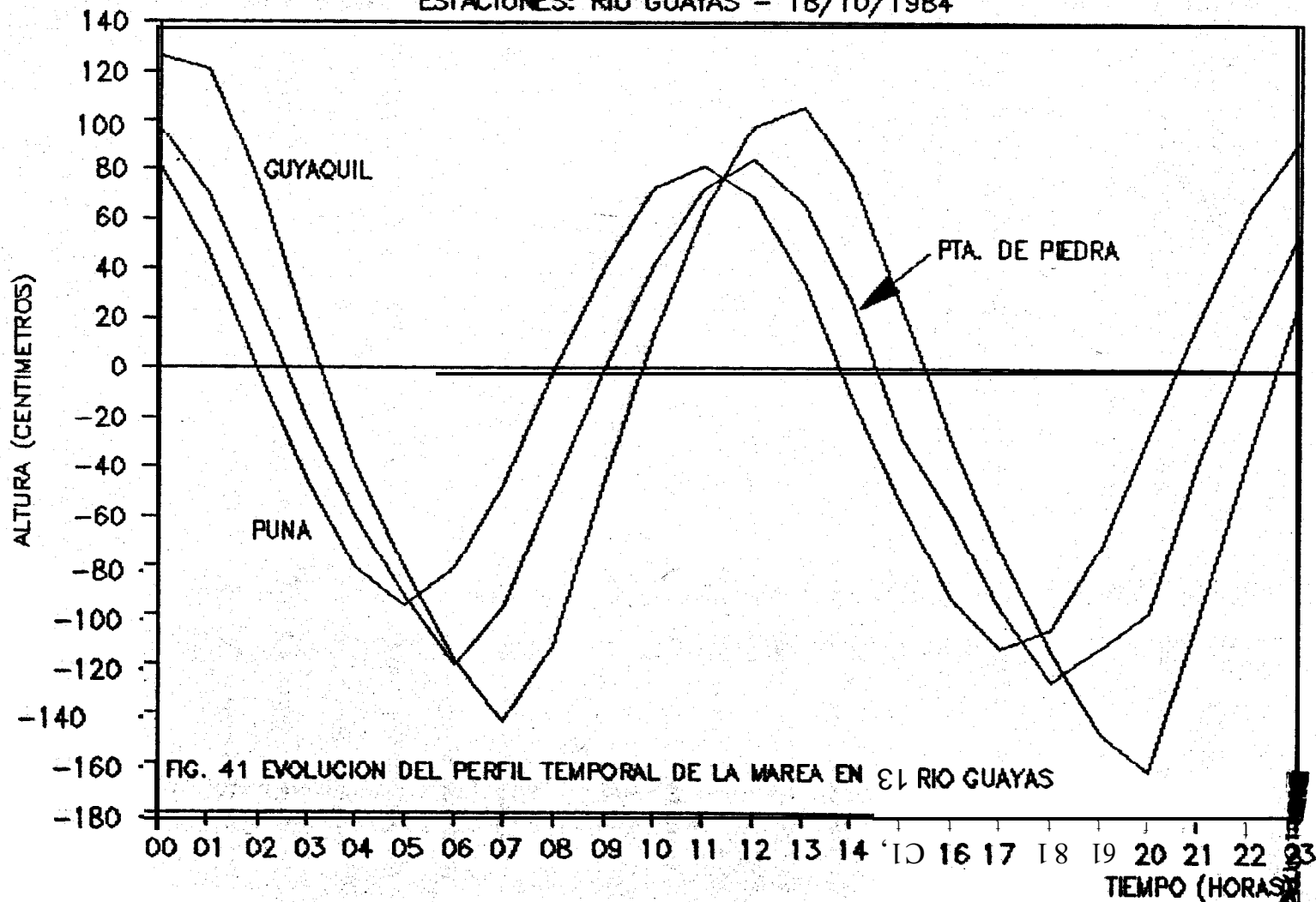
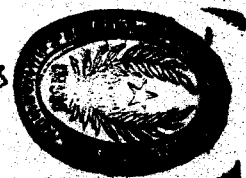


FIG. 41 EVOLUCION DEL PERFIL TEMPORAL DE LA MAREA EN EL RIO GUAYAS





Este comportamiento dinámico de la marea, está asociado también a un retardo de la bajamar y a una aceleración de la pleamar, conforme la onda se aleja de la boca del estuario hacia la cabecera, lo que se acentúa en los períodos de mayor descarga gracias a la disminución de la fricción efectiva durante el flujo y el consiguiente aumento de la misma durante el reflujó. Se observa adicionalmente (fig. 41), que la mayor distorsión ocurre en las bajamares, lo que es compatible con el criterio de una deformación asimétrica (selectiva), que fuera previamente enunciada en el subcapítulo 3.3, y que Peña (1977) atribuyó a la presencia de ondas armónicas de la constituyente principal (M2) como son M4 (lunar cuarto diurna) y M6 (lunar sexto diurna).

Por otro lado, en la figura 42 se muestra la variación del perfil temporal de la marea en diversas estaciones del estero salado, desde Posorja a Guayaquil. Aquí se observa un comportamiento predominantemente estacionario, con continuas ampliaciones hacia la cabecera. Se aprecia al igual que en el gráfico anterior, la existencia de un retraso de la bajamar; sin embargo, éste debe ser atribuido principalmente, a una respuesta dinámica a la fricción y no a algún efecto de flujos residuales de aguas frescas hacia la cabecera del estero, puesto

# PERFIL TEMPORAL DE LA MAREA

ESTACIONES: ESTERO SALADO - 18/10/1984

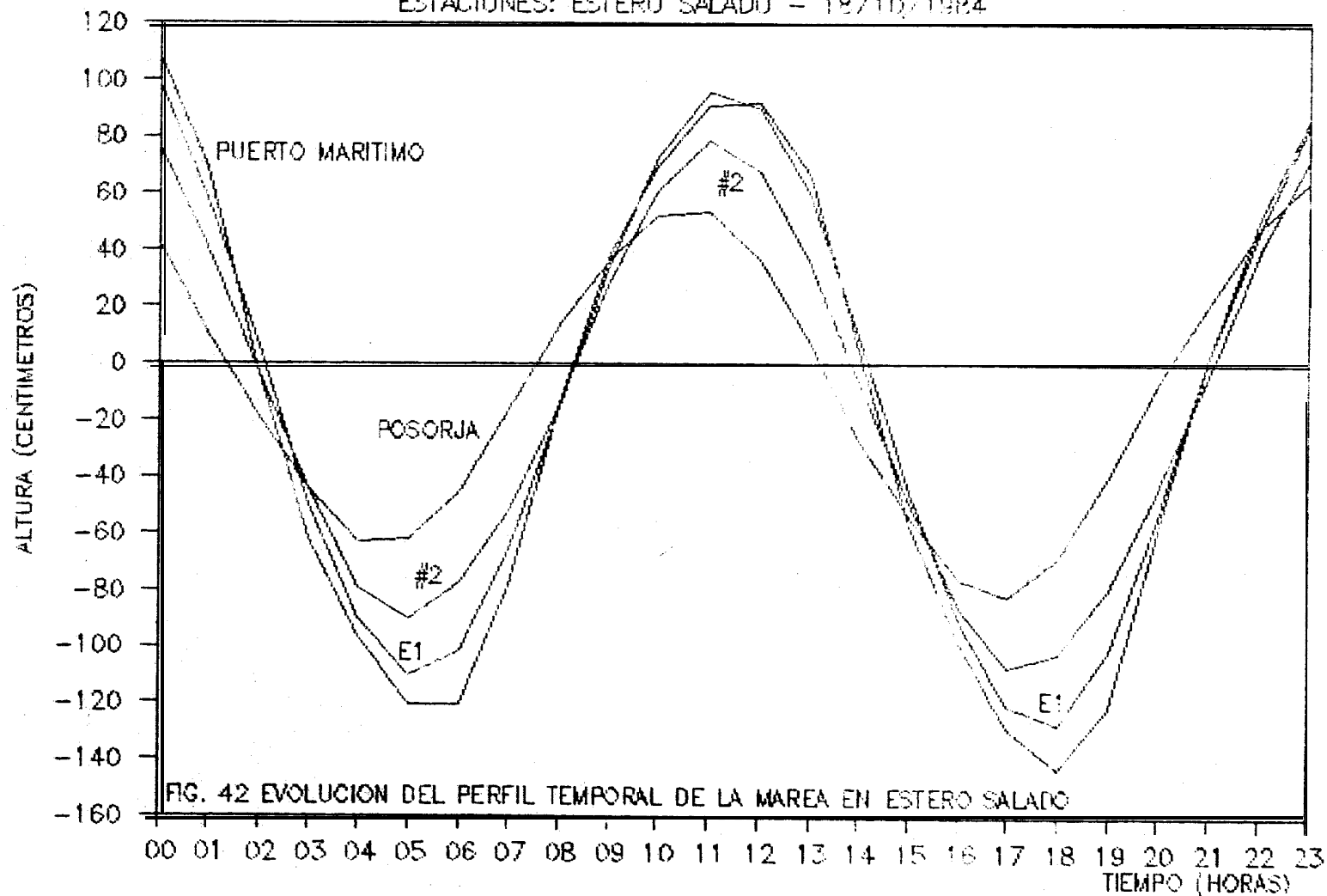


FIG. 42 EVOLUCION DEL PERFIL TEMPORAL DE LA MAREA EN ESTERO SALADO

que los sistemas estacionarios presentan flujos advectivos mas debiles en la cabecera, lo que las hace más protegidas.

Este argumento soporta también los criterios que han formulado la existencia de flujos residuales de aguas dulces saliendo hacia el mar a través del canal del Morro. Esto se debe a que, en las cercanías de las "zonas nodales" las corrientes horizontales son mayores, y al ser los niveles mas bajos, serían favorecidos los flujos de gravedad que se producirían gracias a la acumulación de agua en el río Guayas, en los periodos de altas descarga y marea, las que no podrian drenar por el canal de Jambelí debido a las características propias de la dinámica de la marea en el sector.

Sin embargo, el canal de Cascajal no es la única vía disponible (aunque si la mas grande) para el drenaje de aguas dulces hacia el estero Salado, también los esteros Grande y Cobina pueden servir como canales de acceso de esta agua hacia ese sistema. No obstante, en este trabajo no se ha estudiado directamente ese problema. Lo que si se ha hecho es un análisis de las variaciones de baja frecuencia de las descargas del río Guayas (calculadas de acuerdo a la forma

previamente expresada) y del nivel medio de bajamares de sicigia (MLWS) en el sector de Puerto Marítimo, para un periodo establecido entre 1971 y 1984 (tabla XXI). Se trato de esta manera de obtener alguna relación de causalidad entre estas dos series de tiempo. Para tal efecto, se calcularon las medias moviles de 3, 6 y 12 meses de las anomalías normalizadas de cada serie, lo que permitiría establecer la existencia o no, de relaciones de tipo estacional o interanual entre ambos parametros.

En las figuras 43 a 46 se observan las series obtenidas. Aquí es encontrada una gran variación estacional e interanual en el MLWS y en las descargas; sin embargo en la primera de ellas los cambios mas significativos son los estacionales y en la 61 tima los interanuales, lo que a no dudarlo está relacionado a aspectos meteorológicos de larga escala y período (Chavarría, 1987).

Se puede concluir de tales gráficos y dentro de los límites teóricos, que no existe una correlación aparente entre los dos parametros, puesto que únicamente muestran concordancia en los años de ocurrencia de eventos "El Niño", pero con un desfase de las series contrario a lo que se esperaría si existiera causalidad, lo que implica que el MLWS está

TABLA XXI

SERIE DE TIEMPO: MLNS PUERTO MARITIMO  
(METROS)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1971	13.29	13.35	13.29	13.29	13.35	<b>13.53</b>	13.53	13.35	13.35	13.23	13.23	13.29
1972	13.47	13.56	13.56	<b>13.35</b>	13.50	13.59	13.56	13.59	13.50	13.35	13.38	13.41
1973	13.35	13.41	<b>13.47</b>	13.29	13.29	13.41	13.47	13.47	13.69	13.59	13.53	13.44
<del>1974</del>	13.26	13.35	13.41	13.47	13.47	13.41	13.29	13.29	13.35	13.35	13.35	13.35
1975	13.41	13.41	13.29	13.41	13.35	13.47	13.29	<b>13.32</b>	13.29	13.17	13.23	13.29
1976	13.35	<b>13.35</b>	13.26	13.23	13.29	13.47	13.62	13.47	13.35	13.41	<b>13.35</b>	13.41
1977	13.41	13.41	<b>13.32</b>	13.20	<b>13.20</b>	13.26	<b>13.29</b>	13.35	13.53	13.35	13.26	13.29
1978	13.23	13.44	13.50	13.29	13.41	13.38	13.41	13.32	13.47	13.53	13.47	13.35
1979	13.38	13.32	13.38	13.32	13.47	13.47	13.32	13.23	13.41	13.47	13.35	13.44
1980	13.32	<b>13.26</b>	13.23	13.17	13.41	13.39	13.35	13.29	13.29	<b>13.26</b>	13.14	13.32
1981	13.29	<b>13.38</b>	13.35	13.23	13.29	13.23	13.29	13.41	13.44	<b>13.35</b>	13.23	13.17
1992	13.32	<b>13.41</b>	13.44	13.29	13.35	13.38	13.29	13.41	13.53	<b>13.66</b>	13.56	13.59
1983	13.41	<b>13.38</b>	13.30	13.72	13.75	13.66	<b>13.38</b>	13.32	13.38	<b>13.35</b>	13.32	<b>13.32</b>
1984	13.23	<b>13.23</b>	13.23	13.17	13.20	13.23	13.41	13.32	13.35	<b>13.20</b>	13.29	13.38
PROM#	13.34	13.37	13.35	13.30	13.35	13.40	13.38	13.38	13.42	13.37	13.33	13.35
S.D.*	0.07	0.07	0.11	0.13	0.13	0.11	0.11	0.10	0.10	0.13	0.11	0.08

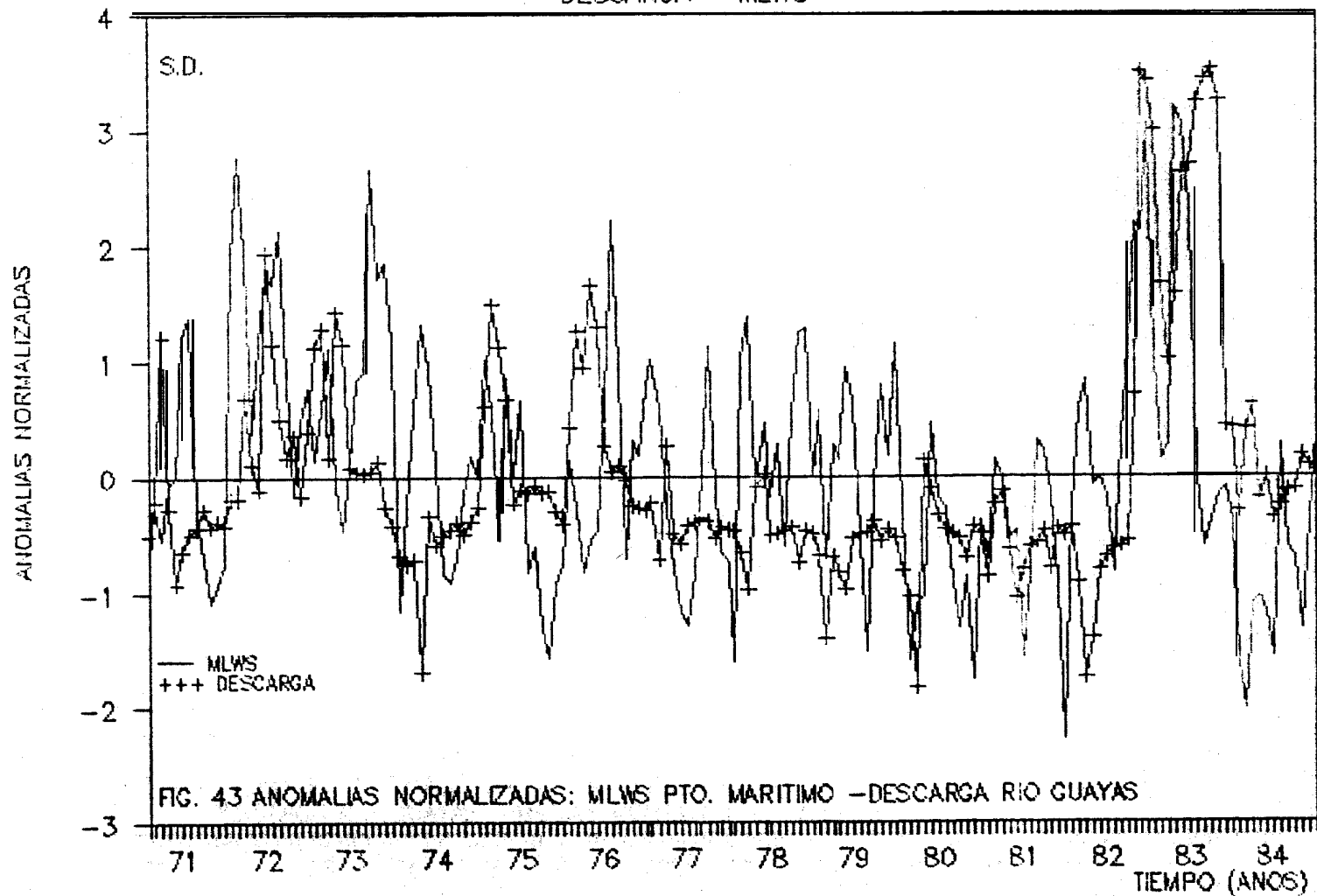
\* CALCULADOS PARA EL PERIODO 1967 - 1986

ANOMALIAS NORMALIZADAS

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1971	-0.72	-0.28	-0.55	-0.08	0.00	1.21	1.39	-0.35	-0.70	-1.09	-0.92	-0.76
1972	1.89	2.77	1.94	0.39	1.17	1.76	1.67	2.14	0.83	-0.15	0.46	0.77
1973	(1.15	0.59	1.11	-0.08	-0.47	0.10	0.84	0.92	2.66	1.72	1.85	1.15
1974	-1.16	-0.28	0.56	1.32	0.94	0.10	-0.82	-0.91	-0.70	-0.15	0.18	0.00
1975	1.02	0.59	-0.55	0.86	0.00	0.56	-0.82	-3.60	-1.31	-1.55	-0.92	-0.76
1976	0.15	-0.28	-0.83	-0.55	-0.47	0.66	2.22	0.92	-0.70	0.32	0.19	0.77
1977	1.02	0.59	-0.27	-0.79	-1.17	-1.28	-0.82	-0.30	1.13	-0.15	-0.65	-0.76
1978	-1.63	1.02	1.39	-0.08	0.47	-0.18	0.28	-0.60	0.52	1.25	1.29	0.00
1979	0.58	-0.72	0.28	0.15	0.94	0.56	-0.55	-1.52	-0.09	0.79	0.18	1.15
1980	-0.29	-1.59	-1.11	-1.02	0.47	-0.19	-0.27	-0.91	-1.31	-0.86	-1.76	-0.39
1981	-0.72	0.15	0.00	-0.55	-0.47	-1.56	-0.82	0.31	0.22	-0.15	-0.92	2.28
1982	-0.29	0.57	0.83	-0.08	0.00	-0.18	-0.82	0.31	1.13	2.19	2.12	3.05
1983	1.02	0.15	0.28	3.20	3.05	2.32	0.01	-0.60	-0.39	-0.15	-0.99	-0.39
1984	1.60	2.07	1.11	1.02	1.17	1.56	0.28	0.60	-0.70	-1.32	-0.37	0.78

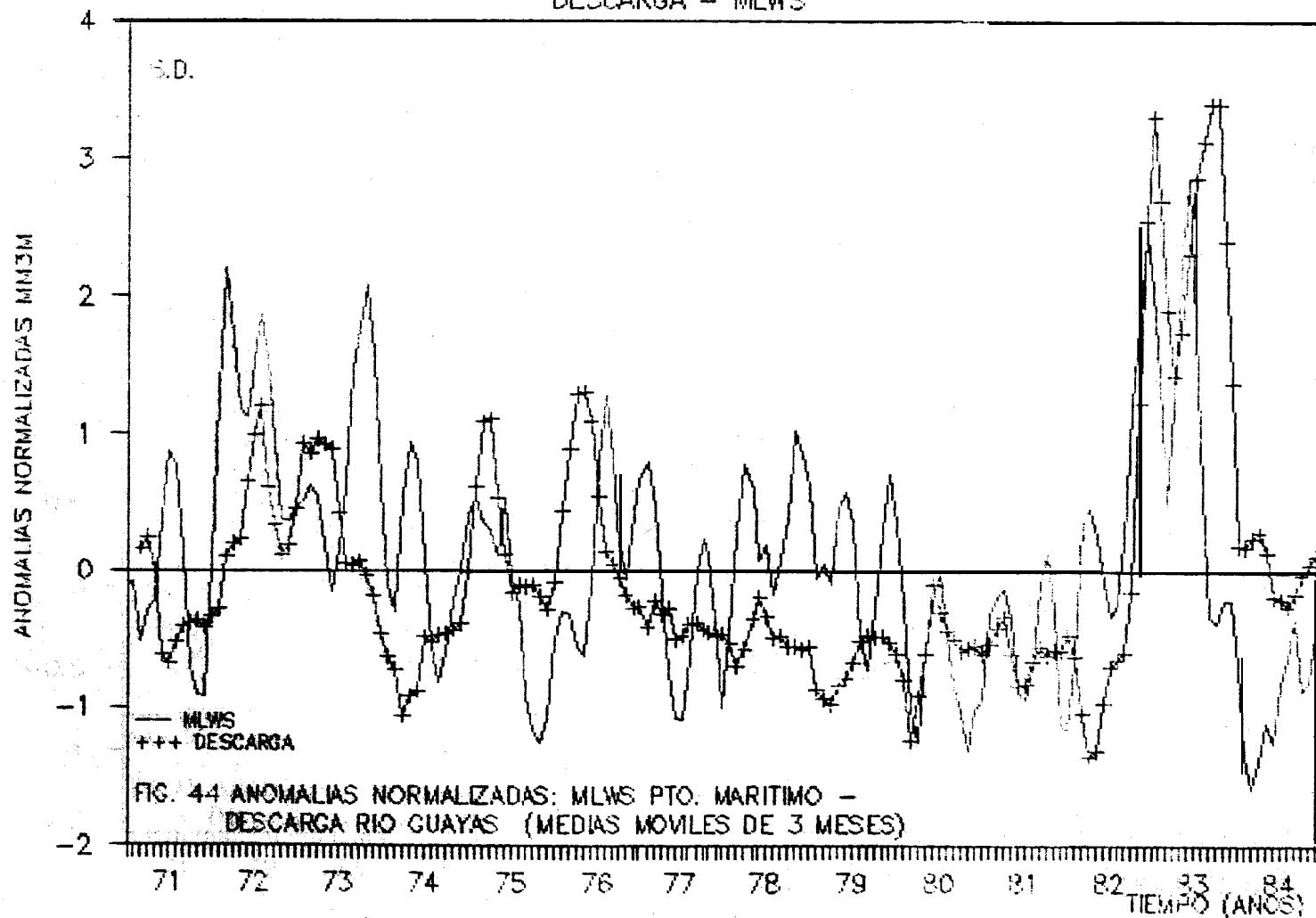
# RIO GUAYAS - PUERTO MARITIMO

DESCARGA - MLWS



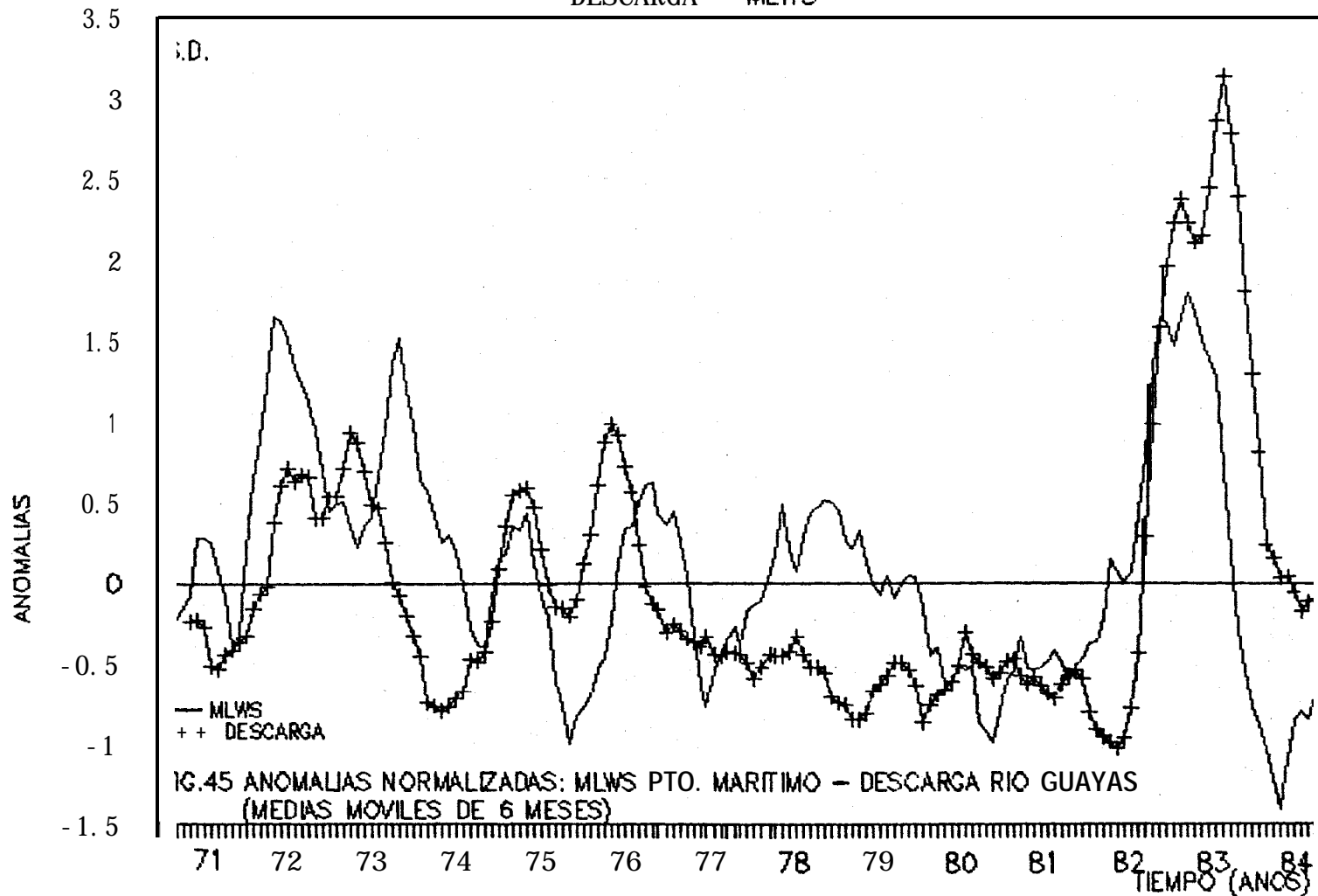
# RIO GUAYAS - PUERTO MARITIMO

DESCARGA - MLWS



# RIO GUAYAS - PUERTO MARITIMO

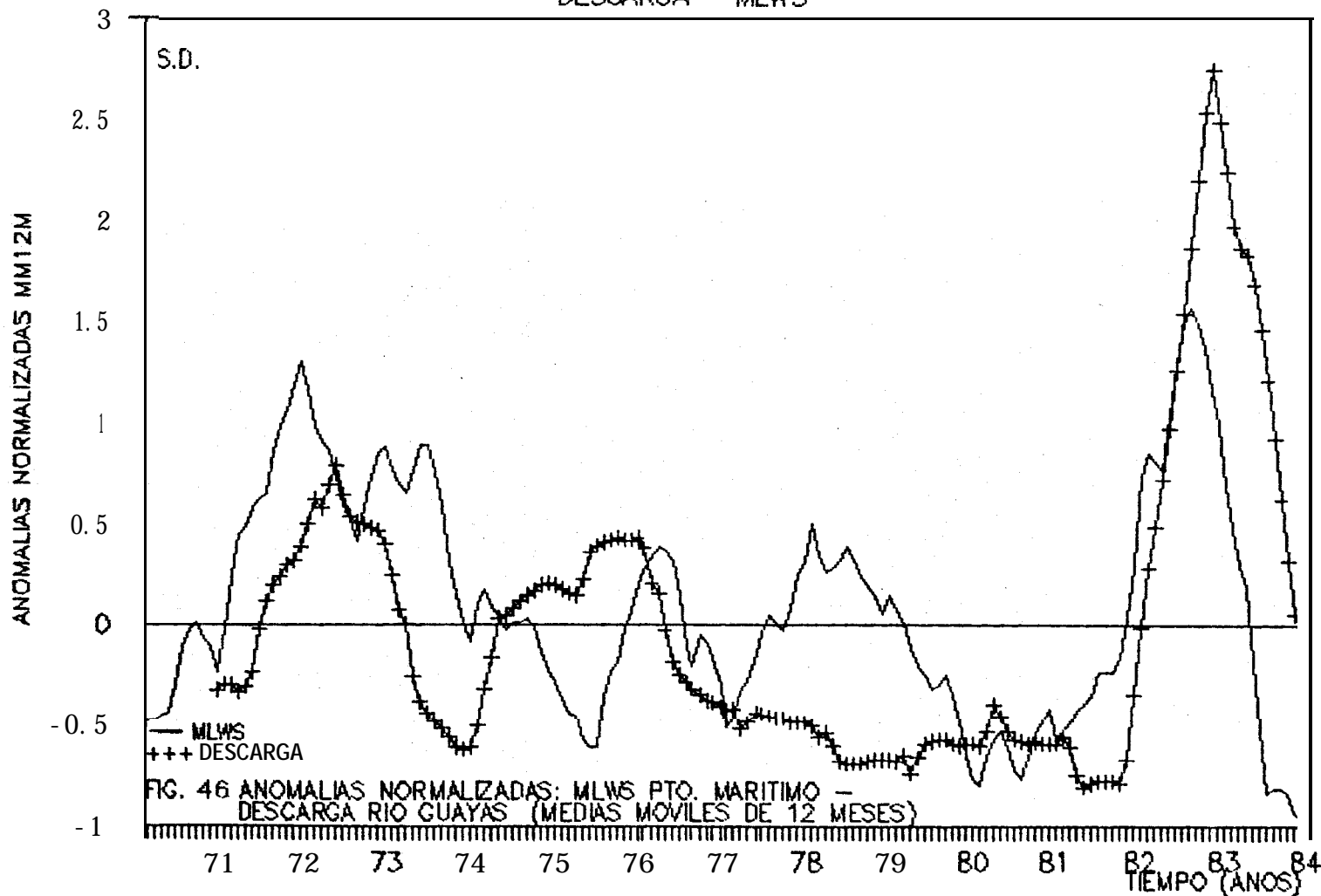
DESCARGA - MLWS





# RIO GUAYAS – PUERTO MARITIMO

DESCARGA – MLWS



respondiendo inicialmente a la perturbación oceánica del fenómeno.

Por último, se ha encontrado que las variaciones semianuales y anuales han sido muy fuertes, lo que amerita un análisis más detallado de tales variaciones. Se evidencia entonces la presencia de componentes "no-astronómicas" de baja frecuencia y de carácter no armónico, que podrían estar influenciado en las mareas, y que no han sido consideradas en el análisis armónico previo a la predicción de la marea. En Guayaquil (Río Guayas) estas componentes están relacionadas sin lugar a dudas a la descarga del río. Para comprobarlo se filtraron estadísticamente tres series de tiempo mensuales correspondientes al nivel medio de la marea (MTL) de las estaciones Guayaquil (Río Guayas), Puerto Marítimo y Posorja, para los años 1985-1986 (Tablas XXII a XXIV). Los resultados son presentados en las figuras 47 a 49, en las que se observa la fuerte oscilación estacional anual y otra oscilación residual muy importante con un periodo aproximado de 5 meses en la estación Guayaquil, lo que sugiere una relación de tales variaciones con componentes de baja frecuencia tales como solar anual ( $S_a$ ) y solar semianual ( $S_{sa}$ ).



**TABLA XXII**  
**COMPONENTES ESTACIONALES DEL MTL**  
**ESTACION GUAYAQUIL**

(cms)

ANO	HES	HTL	MTL*	COMP. EST.	PARTE ANUAL	PARTE RESIDUAL
1985	ENE	262.0	261.8	0.2		
	FEB	268.5	260.6	1.9		
	MAR	279.5	276.6	2.9		
	ABR	271.5	259.4	12.1	1.4	4.7
	MAY	266.5	252.7	13.8	<b>6.1</b>	7.7
	JUN	256.5	245.7	10.8	4.9	5.9
	JUL	251.5	263.7	-6.2	3.0	-9.2
	AGO	263.5	265.0	-1.5	-1.1	-2.5
	SEP	263.5	265.7	-2.2	-5.7	3.5
	OCT	261.0	266.6	-5.6	<b>-7.3</b>	1.7
	NOV	251.5	<b>268.6</b>	-17.1	-5.9	-11.2
	DIC	257.0	271.2	-14.2	-4.1	-9.5
1986	ENE	274.5	274.3	0.2	-2.7	2.9
	FEB	285.5	277.1	0.4	1.6	6.8
	FIAR	281.0	278.1	2.9	6.5	-3.6
	ABR	291.0	278.1	12.9	<b>8.0</b>	4.9
	HAY	294.0	270.8	15.2	<b>6.6</b>	0.6
	JUN	292.0	279.7	12.3	5.3	7.0
	JUL	297.5	304.7	-1.2	3.4	-10.6
	AGO	290.5	292.1	<b>-1.6</b>	-1.0	-0.6
	SEP	<b>260.0</b>	262.2	-2.2	-6.0	<b>3.8</b>
	OCT	263.5	269.2	-5.1		
	NOV	<b>266.0</b>	264.1	-18.1		
	DIC	265.0	279.6	<b>-14.6</b>		

\* HTL SIN COMPONENTES ESTACIONALES

TABLA XXIII  
COMPONENTES ESTACIONALES DEL MTL  
ESTACION PUERTO MARITIMO

AÑO	HES	HTL	(cms)			
			MTL*	COMP. EST.	FARTE ANUAL	FARTE RESIDUAL
1985	ENE	154e.o	1548.0	0.0		
	<b>FEB</b>	1551.0	1557.0	<b>-6.0</b>		
	<b>MAR</b>	1548.0	1548.0	0.0		
	ABR	1567.0	15h7.0	0.0	-0.3	0.3
	<b>MAY</b>	1561.0	1561.0	0.0	0.5	-0.5
	<b>JUN</b>	<b>1564.0</b>	<b>1562.0</b>	<b>2.0</b>	0.7	1.3
	JUL	1561.0	<b>1556.0</b>	5.0	0.9	4.1
	<b>AGO</b>	1554.0	1556.0	-2.0	<b>0.8</b>	<b>-2.8</b>
	SEP	1554.0	<b>1556.0</b>	-2.0	-0.5	-1.5
	OCT	1561.0	<b>1556.0</b>	5.0	-1.6	4.6
	NOV	1548.0	1555.0	-7.0	-2.3	-4.7
	<b>DIC</b>	1548.0	1554.0	-6.0	-2.5	-3.5
1986	ENE	1554.0	1554.0	0.0	-2.8	2.8
	<b>FEB</b>	<b>1548.0</b>	1554.0	-6.0	-2.7	-3.3
	<b>MAR</b>	1554.0	1554.0	0.0	-1.5	1.5
	<b>ABR</b>	1554.0	1554.0	0.0	-0.4	0.4
	<b>MAY</b>	1554.0	1555.0	-1.0	0.3	-1.3
	JUN	1558.0	1556.0	2.0	0.5	1.5
	<b>JUL</b>	1561.0	1556.0	5.0	-0.4	5.4
	<b>AGO</b>	1554.0	1556.0	-2.0	-0.4	-1.6
	<b>SEP</b>	1554.0	1556.0	-2.0	-0.4	-1.6
	OCT	1564.0	1559.0	5.0		
	NOV	<b>1561.0</b>	<b>1567.0</b>	-6.0		
	<b>DIC</b>	1554.0	1561.0	-7.0		

\* MTL SIN COMPONENTES ESTACIONALES

TABLA XXIV  
COMPONENTES ESTACIONALES B E L MTL  
ESTACION POSORJA

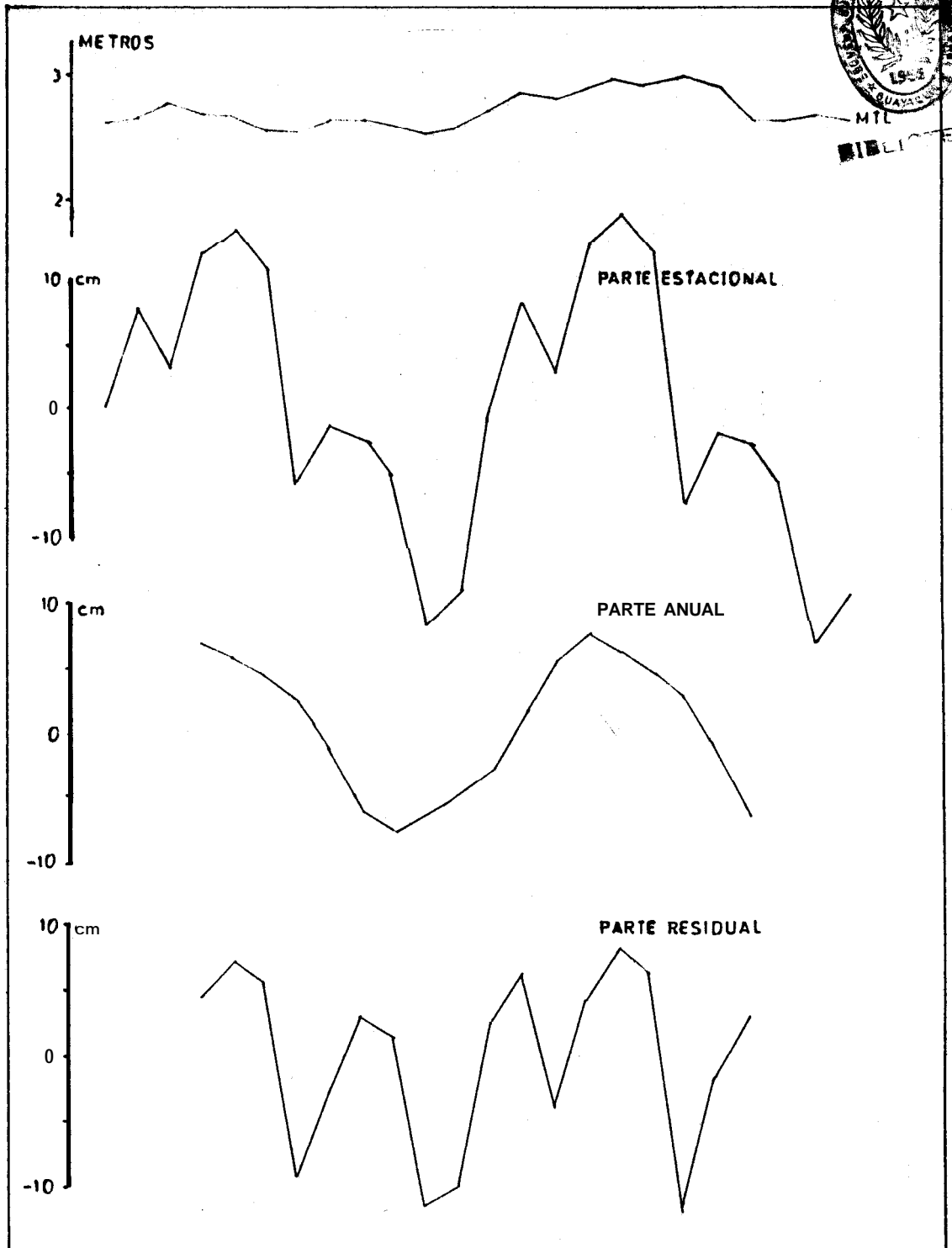
(cms)

AGO	HES	MTL	MTL*	COMP. EST.	PARTE ANUAL	PARTE RESIDUAL
1985	ENE	271.4	<b>273.0</b>	3.6		
	FEB	274.3	280.4	<b>-6.1</b>		
	MAR	277.4	278.2	-0.8		
	ABR	277.4	279.3	-1.9	-1.2	<b>-0.7</b>
	MAY	217.4	277.3	0.2	-1.1	1.3
	JUN	280.4	280.6	-0.4	-0.4	0.1
	JUL	277.4	277.9	-0.5	0.1	-0.6
	AGO	217.4	278.1	-0.7	0.0	<b>-0.8</b>
	SEP	280.4	278.3	2.1	-0.7	<b>2.8</b>
	OCT	280.4	278.5	1.9	-0.3	2.1
	NOV	214.3	278.9	-4.4	-0.4	-4.2
	DIC	277.4	279.3	-1.9	-1.1	-0.8
1986	ENE	283.5	279.0	3.7	-1.6	5.3
	FEB	274.3	280.4	-6.1	-1.5	-4.6
	MAR	280.4	281.2	-0.8	-1.0	0.2
	ABR	280.4	262.3	-1.9	-1.2	-0.7
	MAY	283.5	263.4	0.2	-1.1	1.3
	JUN	283.5	283.9	-0.4	-0.5	0.1
	JUL	206.5	287.0	-0.5	0.1	-0.6
	AGO	283.5	284.3	-0.8	0.1	-0.8
	SEP	292.6	290.4	2.2	-0.5	2.7
	OCT	295.7	293.7	2.0		
	NOV	<b>283.5</b>	<b>288.3</b>	-4.8		
	DIC	<b>280.4</b>	202.3	-1.9		

\* MTL SIN COMPONENTES ESTACIONALES

1985 1986 1987 1988 1989 1990

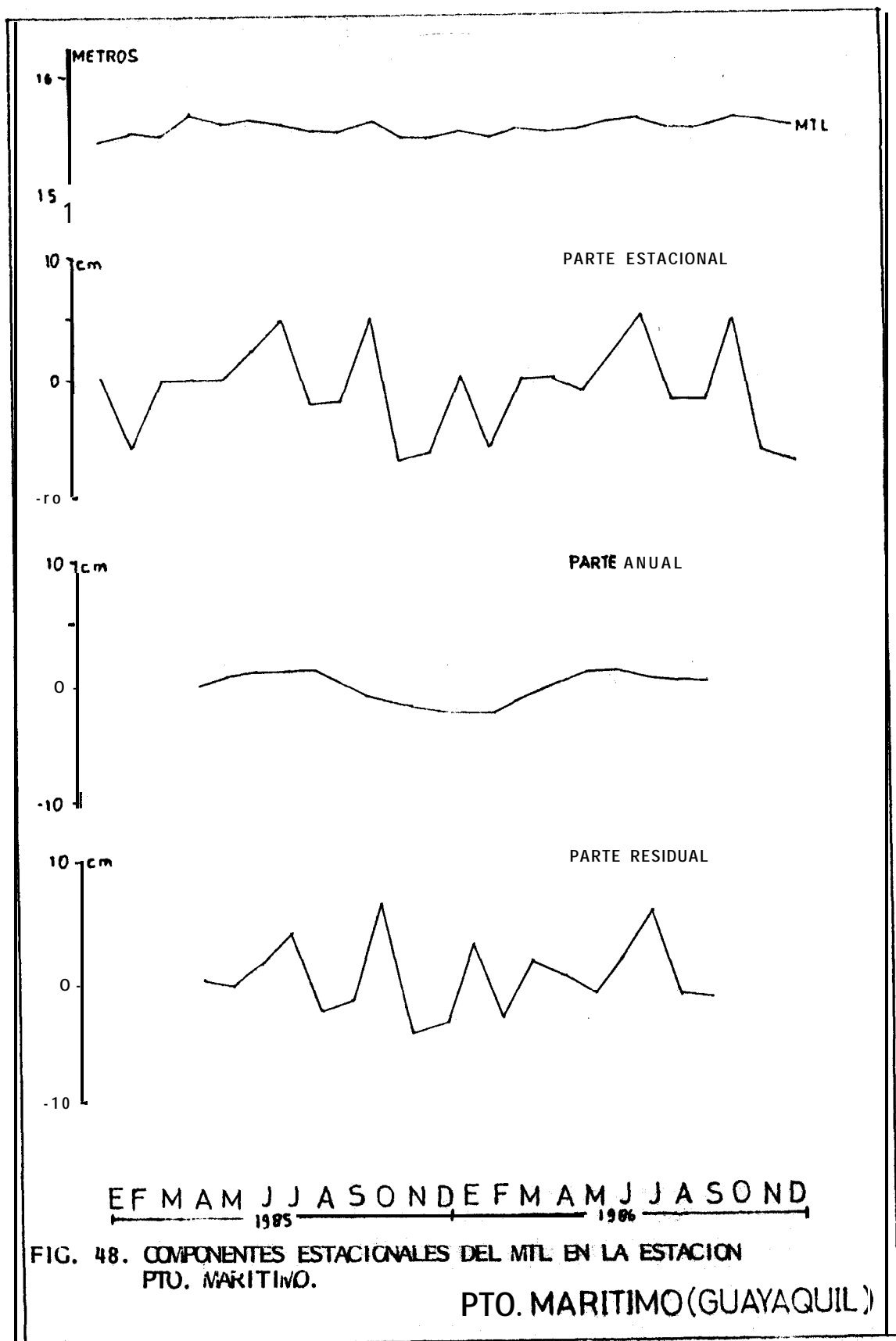
1985  
1986  
1987  
1988  
1989  
1990

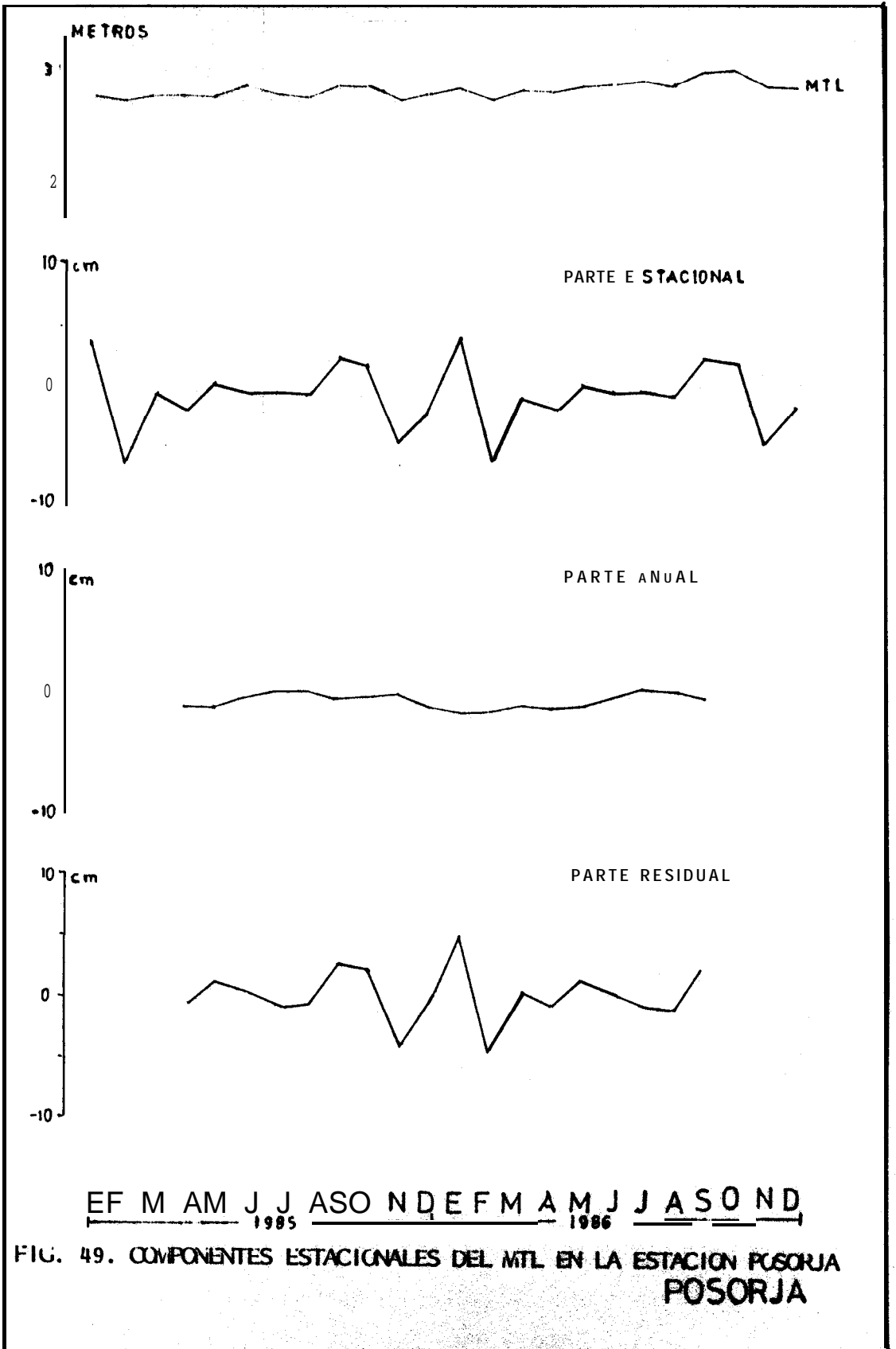


E F M A M J J A S O N D E F M A M J J A S O N D  
1985 1986

FIG. 47. COMPONENTES ESTACIONALES DEL MTL EN LA ESTACION QUAYAQUIL

RIO GUAYA S







En lo referente a Puerto Marítimo y Posorja, se observan también las variaciones anuales y residuales, sin embargo éstas son de poca magnitud, y parecen mas bien relacionadas a las anomalías estéricas propias de los cambios en las propiedades físicas del océano asi como a cambios de orden meteorológico (presión, precipitación), en respuesta a los cambios de estación. Sin embargo, éstas variaciones también están relacionadas a las constituyentes de largo periodo previamente mencionadas.

## C A P I T U L O   I V

### EVALUACION DE LOS RESULTADOS

De los resultados obtenidos a lo largo de este trabajo, se puede observar que se han abarcado puntos muy diversos de los estudios típicos de la información de mareas, lo que implicó el procesamiento y análisis de una gran cantidad de información. Sin embargo, el resultado más notable quizás sea el haber dado pautas para el estudio sistemático de tal información.

Aquella persona familiarizada con la teoría de mareas, sabrá que muchos de los capítulos y subcapítulos presentados aquí, cumplen por sí solos con requisitos suficientes para ser objeto de estudios individuales más extensos, lo que obviamente permitiría ampliar los resultados obtenidos.

En el subcapítulo 3.1 se hizo un análisis de la variación de los niveles de referencia en el sistema, lo que fue extendido a un estudio de su estabilidad, así como de las constantes armónicas principales. Para tal fin, se utilizaron series de promedios mensuales y anuales de los

niveles, así como set-i es tic los valores anuales de las constituyentes. Los resultados obtenidos dependieron por tanto de la información disponible; sin embargo, es conocido que cuando se trabaja con series de tiempo, se obtienen mejores resultados con series más largas y con intervalos de muestreo adecuados. Esto permite concluir que habrá que realizarse un seguimiento constante de las condiciones mareológicas, que permita dar continuidad a los estudios, realizados, y habrá también que reducir el intervalo de muestreo si se desea investigar variaciones de período inferior a las mostradas.

Por otro lado, en el subcapítulo 3.2 se ha establecido el comportamiento dinámico de la marea en el sistema, y se ha finalizado con una síntesis de los resultados y representación científica de los mismos bajo la forma de cartas cotidales, lo que quizás sea uno de los resultados principales de esta tesis. Sin embargo, se podría extender el análisis a un estudio del comportamiento dinámico de la marea en distintas fases lunares y estaciones climáticas, lo que obviamente será de mucha utilidad en la planificación futura de instalaciones acuiculturales, así como de aquellas relacionadas al transporte fluvial.

En el subcapítulo 3.3 se hizo un análisis de la fiabilidad de las predicciones mediante el cálculo de las diferencias entre marea observada y marea predicha, con lo

que se obtuvo buenos resultados; sin embargo, debido a la forma de presentación, a los cálculos, así como a la disponibilidad de información, los "errores" solo pudieron ser descriptivamente asociados a perturbancias de origen físico. No obstante esto, los resultados obtenidos aquí mostraron mucha homogeneidad con aquellos obtenidos a lo largo de todo el capítulo.

Por último, en el subcapítulo 3.4 se demostró la influencia que la descarga del río Guayas ejerce sobre el comportamiento de la marea y de su nivel medio en la estación Guayaquil. Las oscilaciones de este último, fueron asociadas a las constituyentes  $S_a$  y  $S_{sa}$ , que se muestran bastante desarrolladas en este tipo de sistemas. Sin embargo, las componentes:  $M_f$ , formada por la interferencia de  $O_1$  (lunar diurna principal) con  $K_1$  (lunisolar declinacional diurna);  $M_{sf}$ , formada por la interacción de  $M_2$  (lunar-semidiurna principal) con  $S_2$  (solar semidiurna principal), así como  $M_m$ , formada por la interferencia de  $M_2$  y  $N_2$  (lunar elíptica semidiurna mayor), que también son importantes debido a los procesos no lineales que ocurren en los estuarios (y que afectan a las ondas que originan tales constituyentes), no han sido consideradas aquí, puesto que la sola investigación de estas componentes armónicas, es de por sí un tema bastante amplio.

En definitiva, se espera que varios trabajos (más espe-

cializados), sean desarrollados a partir de las discusiones anteriores.



BIBLIOTECA

... de la ...  
... de la ...  
... de la ...  
... de la ...  
... de la ...

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El análisis efectuado a la información de mareas ha permitido concluir que:

1. Los cambios interanuales de las condiciones oceanográfico - meteorológicas (eventos El Niño), inciden directamente en el comportamiento de los niveles de referencia a lo largo del sistema, especialmente en el sector del río Guayas donde la oscilación estacional también es muy importante.

2. Las variaciones de los niveles de referencia, guardan relación directa con las variaciones de las constituyentes de mareas. Lo que fue demostrado con el análisis de tendencia de las constantes armónicas.

3. La estación Puerto Marítimo, muestra una gran estabilidad de los niveles de referencia y de las constituyentes, lo que presenta indicios de que el sector tiene poca influencia externa (que no sea la propia de la marea oceánica), lo que lo haría muy protegido y por lo tanto sensible a la contaminación.

4. El comportamiento dinámico de la marea en el Estero

Salado, y especialmente en su sector norte, es preponderantemente de tipo estacionario. Las mareas en el canal de Cascajal, que cooscilan con las mareas del Estero Salado y el rio Guayas, presentan también alguna tendencia hacia ese comportamiento. Por otro lado, en el rio Guayas el comportamiento de la marea presentó más bien un **caracter** progresivo.

5. El estudio de las relaciones internas entre constantes armónicas y el análisis de cartas cotidales, han demostrado ser herramientas muy tiles para la interpretación científica de la información de mareas.

6. Las predicciones de marea mostraron apreciables imperfecciones a lo largo del sistema. Encontrándose "errores" mayores en la predicción de bajamares, lo que esta relacionado a una deformación selectiva del perfil de la marea.

7. Las descargas de 105 rios Daule y Babahoyo, ejercen una acción efectiva sobre el comportamiento de la marea en la estación Guayaquil. El rio Guayas puede ser considerado como un sistema de "aguas abajo", en los cuales el comportamiento típico de la marea consiste de un adelanto de la pleamar y un retraso de la bajamar.

8. Por lo menos en las bajas frecuencias, el efecto de

la descarga del río no ejerce influencia sobre el comportamiento de la marea en el sector norte del estero salado. Sin embargo, este esquema no tiene necesariamente igual para el sector sur.



BIBLIOTECA

9. Las fluctuaciones anuales y semianuales del nivel medio de la marea a lo largo del sistema, están asociadas a las constituyentes  $S_a$  y  $S_{sa}$  del potencial del campo generador de las mareas. La amplitud de estas ondas es mayor en la estación Guayaquil como respuesta a la influencia estacional del río.

10. Los métodos utilizados para obtener las predicciones de mareas publicadas por INOCAR, en el periodo en que se obtuvo la información básica para el desarrollo de esta tesis, son más adecuados para su aplicación en información proveniente de estaciones costeras y oceánicas. De lo que se puede concluir que tales métodos son limitadamente aplicables en el estuario del río Guayas, puesto que no se han tomado en cuenta para la realización de los cálculos de predicción, una serie de factores hidrodinámicos relacionados principalmente a la descarga del río.



Los resultados obtenidos han permitido hacer las siguientes recomendaciones:

1. Con el análisis de tendencia, fue encontrada una ligera pendiente positiva en los niveles de referencia de la estación Posorja. La corta extensión de la serie (11 años) no permitió establecer una conclusión al respecto. Sin embargo, de existir tal tendencia, sería muy importante que esta sea tomada en cuenta en los estudios que involucren el uso de tales niveles. Se recomienda por tanto extender el análisis de esta estación por un tiempo mayor.

2. El análisis de tendencia de las principales constantes armónicas ha permitido recomendar el uso de los promedios vectoriales de tales componentes, para las predicciones en las estaciones Puerto Marítimo y Posorja.

3. Se recomienda la realización de análisis armónicos anuales en cada estación, para estudios de estabilidad, así como para la calibración de las cartas cotidales presentadas. Con este último fin, se recomienda un estudio más detallado del sector comprendido entre Punta de Piedra y Durán en el río Guayas, lo que involucraría la instalación de estaciones secundarias. Esto también ayudaría a mejorar la predicción en la estación Guayaquil.

4. Se recomienda la realización de un análisis mediante técnicas espectrales, de los residuos obtenidos al calcular la diferencia entre marea observada y marea predicha, con un intervalo de media hora. Esto permitirá hallar las constituyentes de bajo fondo que están actuando sobre las mareas propias de cada estación, y que no han sido incluidas en el análisis armónico.

5. Tres constituyentes que adquieren características especiales en sistemas sometidos a regímenes de ríos, son las componentes  $M_f$ ,  $M_{sf}$ ,  $M_m$ . INOCAR incluye a  $M_m$  y  $M_{sf}$  en el cálculo de la predicción de mareas, sin embargo,  $M_f$  no es incluida. Un estudio similar al sugerido en el punto anterior, es recomendado para esta componente. Se podría utilizar aquí un intervalo de muestreo mayor.

6. Se sugiere un estudio para la inclusión en la predicción de la estación Guayaquil., de las constituyentes  $S_a$  y  $S_{sa}$ . No necesariamente estas componentes tienen que ser calculadas con el análisis armónico, puesto que ello implicaría el procesamiento de una gran cantidad de datos. Como estas componentes raramente son armónicas, ellas deben ser calculadas por medio de una correlación con factores oceanográfico - meteorológicos, que permitan su predicción aproximada.

7. Los métodos aquí tratados podrían ser incluidos para

presentar cálculos de mareas a futuro, y deberían ser extendidos al análisis mareológico de estaciones costeras.

B. El aporte de oceanógrafos es vital para el desarrollo de programas que tiendan a: optimizar la información de mareas, implementar las investigaciones mareológicas (incluidas aquellas dirigidas al mejoramiento de las predicciones), así como a la utilización práctica de la información. Se recomienda por tanto que, de manera complementaria a los hidrógrafos, oceanógrafos deberían ser convocados para trabajar permanentemente en la Sección Mareas del INOCAR, así como en departamentos similares de otras instituciones.

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

1. COMIS ION OCEANOGRAF I CA I NTERGUBERNAMENTAL . Manual de medición e interpretación del nivel del mar, UNESCO, Paris, 1985, Manuales y Guías, No. 14, 1-78 p.
2. COMIS ION OCEANOGRAF I CA I NTERGUBERNAMENTAL, Esta- ciones operacionales del nivel del mar, UNESCO, Paris, 1983, Col. Tec., No. 23, 7 p.
3. COMIS ION DE ESTUDIOS PARA EL DESARROLLO DE LA CUENCA DEL RIO GUAYAS , Revista de divulgación de las acti- vidades correspondientes al período 1982 - 1984, CEDEGE, Guayaquil, 1976. 17-66 p.
4. CHAVARRIA, J.. Efecto de la circulación atmosférica del Pacífico Sur en la descarga y niveles de marea de un estuario tropical, Guayaquil, 1987, 1-26 p., Trabajo presentado en la Conferencia Técnica de la Organizaciñn Meteorológica Mundial sobre Aspectos Operacionales de Energía - Meteorología.
5. DEFANT, A . , Physical Oceanography, Volume II, Pergamon Press LTD., Oxford, 1961, 364-503 p.

6. DOHLER, G. C., The accuracy of tide predictions within Canadian waters, Department of Energy , Mines and Resources , Ottawa, 1966 - 1967, 11-32 p., The collected papers and reports of the tide and water levels section, Vol 3.
7. DOS SANTOS, A., Livro texto de marés, Marinha do Brazil, Brazil, 1964, 18-35 112-121 p.
8. ENCICLOPEDIA SALVAT EL MAR, Tomo 7, Salvat S.A. Ediciones, Pamplona, 1979, 21-34 p.
9. ENCICLOPEDIA SALVAT DE LAS CIENCIAS, Matemática - Astronomia, Salvat S.A. Ediciones, Pamplona, 1979, 245-248 p.
10. ENFIELD D. B., Manual de prácticas de oceanografía física, INOCAR, Guayaquil, 1976, 122-130 p.
11. EINSTEIN, H. A. Y J. A. HARDER, Analytic and numerical methods for the prediction of tidal elevations and tidal flows in canals and estuaries, To the Committee on Tidal Hidraulics, Corp. o f Engineers, U. S. Army, Final Report, Berkeley, 1960, 2-7 p.

12. ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL, Disposiciones para la elaboración de la tesis de grado, ESPOL, Guayaquil, 1984, 1-26 p.
13. GARCIA, 'J. Y E. BARBUDO, Elementos de las mareas (Método armónico), Madrid, 1946, 1-24 p.
14. GODIN, G., Modification of river tides by the discharge, Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, Vol. 3, No. 2, 1982, 257-273 p.
15. GODIN, G., The analysis of tides, Liverpool-University Press, Liverpool, 1972, 1-34 p.
16. GODIN, G., Tidal predictions' in rivers subject to spring freshets, UNESCO, Mónaco, 1967, 187-193 p., Acts o f the Symposium on Tides organized by the International Hydrographic Bureau, Vol. 1.
17. GODIN; G., R. DE LA PAZ, N. RODRIGUEZ Y M. ORTIZ, 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., 1980, 1-82 p.
18. HEMLEBEN, J., Galileo, Salvat Editores, Barcelona ,

1985, 7-195 p., Col. "Biblioteca Salvat de Grandes Biografías", No. 40.

19. HOLDEN, R., Procesos estuarinos, ESPOL, Guayaquil, 1978, 3-5 55-60 p.
20. HORN, W., Tables of astronomical arguments  $V_0 + v$  and corrections  $j, v$  for use in the harmonic analysis and prediction of tides for the years 1900 to 1999, UNESCO, Mónaco, 1967, 167-169 p., Acts of the Symposium on Tides organized by the International Hydrographic Bureau, Vol 1.
21. INSTITUTO OCEANOGRAFICO DE LA ARMADA, Glosario de corrientes y mareas, INOCAH, Guayaquil, 1977, 3-53p.
22. INSTITUTO OCEANOGRAFICO DE LA ARMADA - SECCION MAREAS, Tablas de mareas y datos astronómicos del sol y de la luna, INOCAR, Guayaquil, 1986, 45 47 49-53 55 p.
23. INSTITUTO OCEANOGRAFICO DE LA ARMADA - SECCION MAREAS, Trabajos técnicos internos.
24. KALKWIJK, J. P. Th., Tides, International Institute for Hydraulic and Environmental Engineering, Belft, 1978, 2-72 p.

25. KOESTLER, A., Kepler, Salvat Editores, Barcelona, 1985, 7-184 p., Col. "Biblioteca Salvat de Grandes Biografías", No. 46.
26. LENNON, G. W., A critical examination of the conventional tide gauge, UNESCO, Mónaco, 1967, 29-43 p., Acts of the Symposium on Tides organized by the International Hydrographic Bureau, Vol. 1.
27. LENNON, G. W., An intensive analysis of tidal data in the Thames estuary, UNESCO, Mónaco, 1967, 171-186 p., Acts of the Symposium on Tides organized by the International Hydrographic Bureau, Vol. 1.
28. MERRY, C. L., Processing of tidal records at Hout Bay Harbor, Internacional Hydrographic Review, Mónaco, 1980, 149-154 p., Vol. 57, No. 1.
29. NEUMANN, G. Y. W. J. PIERSON, Principles of Physical Oceanography, Prentice-Hall INC., Englewood Cliffs, N. J., 1966, 298-325 p.
30. PATULLO, J., W. MUNK, R. REVELLE Y E. STRONG, The seasonal oscillation in sea level, Reprint from Sears Found. Journ. Mar. Res., Vol. 14, No. 1, 1955, 8-155 p.



31. PENA, H., Disipación de energía de marea en el sistema Babahoyo - Guayas, ESPOL, Guayaquil, 1977, 1-15 p.
32. PENA, H., Distorsión del perfil temporal de la marea en el río Guayas, ESPOL, Guayaquil, 1977, 1-10 p.
33. HESNICK, R. Y D. HALLIDAY, Física parte 1, Compañía Editorial Continental, México, 1972, 615-650 p.
34. SHIPLEY, A. M., Recent developments in tidal analysis in South Africa, UNESCO, Mónaco, 1967, 59-73 p., Acts of the Symposium on Tides organized by the International Hydrographic Bureau, Vol. 1.
35. SMITH, N. P., Tidal and low frequency net displacement in a coastal lagoon, 1983, 180-189 p., Estuaries, Vol. 6, No. 3.
36. UNESCO TECHNICAL PAPERS IN MARINE SCIENCE, An intercomparison of open sea tidal pressure sensors, UNESCO, Paris, 1975, 5-34 p., Report of SCOR Working Group 27: "Tides of the Open Sea".
37. U. S. COAST AND GEODETIC SURVEY, Manual de

observación de las mareas, Hockville, 1965,  
Publicación especial No. 196.



38. Van ETTE, A. C. M. Y H. J. SCHOEMAKER, Harmonic  
análises of tidal essential features and disturbing  
influences, Netherlands Hydrographer, 1966, 1-7 p.,  
Vol. 1, No. 2.
39. ZETLER, B. D., Shallow - water tide predictions,  
UNESCO, Mónaco, 1967, 163-166 p. , Acts o f the  
Symposium on Tides organized by the International  
Hydrographic Bureau, Vol. 1.