

Análisis mareográfico de los puertos de Puntarenas y Limón. Costa Rica

*Alejandro Gutiérrez.
Departamento de Física.
Universidad Nacional de Costa Rica.
Cátedra de Mediciones Oceanográficas.
Universidad de Trieste.*

RESUMEN. Se analizan las series temporales de nivel del mar de los puertos de Puntarenas y Limón (Costa Rica) mediante el uso y la confrontación del método clásico de análisis de Doodson y los procedimientos de análisis de las mareas de Mosetti-Carozzo, 1971-1972, extendiéndose para tales localidades el conocimiento sobre el fenómeno a un número mucho mayor de componentes.

SUMMARY. There have been analysed the sea level time series for the ports

of Puntarenas and Limón (Costa Rica) by means of the application and the comparison of Doodson's classical harmonic method for the analysis of tides and Mosetti-Carozzo, 1971-1972, procedures of analysis, having a greater resolution power. It has been also increased the local tidal knowledge to a greater number of components.

RESUME. On fait l'analyse des données sur les niveaux des eaux océaniques à Puntarenas et à Limón. (Costa Rica), parmi l'emploi des méthodes

classiques appartient á Dodson et les instruments d'analyse mareométriques de Mosetti-Carozzo, 1971-1972; le phénomène, est connu dans ces cas d'études, en agregant d'autres elements d'analyse.

INTRODUCCION

Hasta el momento presente, el conocimiento de la marea en nuestro medio se limitaba a las aproximadas estimaciones de algunos de los métodos clásicos de análisis de las mareas (del tipo "Kelvin") con el agravante de la sola consideración de un muy reducido número de componentes. Una estimación tal, para fines prácticos considerada como suficiente, deja por fuera no obstante gran cantidad de información de interés físico conectada con la contribución de los componentes menores, la eventual existencia de sesas (1), efectos no lineales y forzantes de origen diverso, etc. que, decididamente, falsean la definición de la mareografía en una cierta localidad.

En el presente trabajo, en el que fueron analizadas las series temporales de ocho meses de registros de alturas horarias del puerto de Limón (Lat. $9^{\circ} 59' 7.8''$ N., Long. $83^{\circ} 01' 39.6''$ W) y cuatro años de alturas horarias del puerto de Puntarenas (lat. $9^{\circ} 58' 16''$ N., Long. $84^{\circ} 50' 8.8''$) (Fig. 1) se puso en tela de duda la bondad de los métodos clásicos de análisis y, consecuentemente, se sometieron los mismos a una confrontación con métodos de filtraje más selectivos que habían ya dado óptimos resultados en el pasado; además, el análisis abarcó un número mucho mayor de constituyentes de marea. Así, se ha obtenido no sólo una visión más detallada de las características mareográficas de los citados puertos sino también una precisión mucho mayor de las diferentes

contribuciones parciales a la marea total en esas localidades.

ANALISIS ARMONICO Y PREVISION MAREOGRAFICA

La marea, como es sabido, no es otra cosa que la respuesta directa de la masa oceánica bajo la acción simultánea de los diferentes factores astronómicos intervinientes. La misma, puede ser expresada mediante el siguiente desarrollo armónico:

$$\zeta(t) = \zeta_0 + f_i H_i \sum \cos(a_i t + V_i + u_i - k_i)$$

con $V_i + u_i =$ fase astronómica de la armónica i .

$a_i =$ velocidad angular de la armónica i

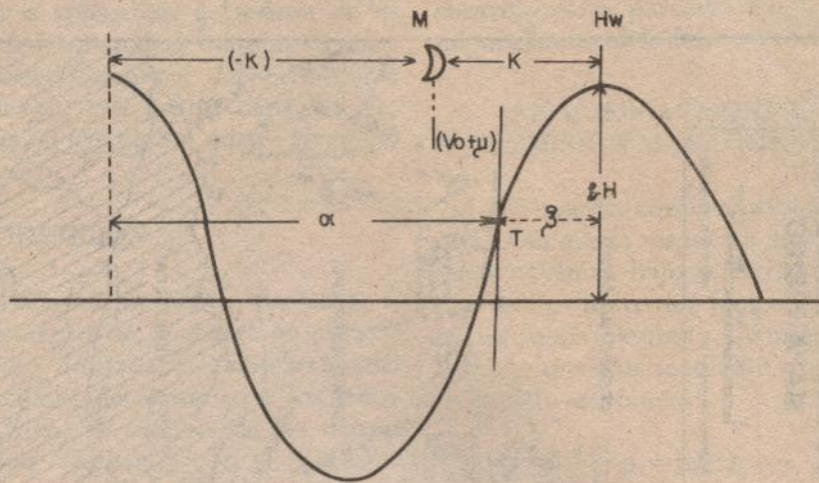
$\zeta_0 =$ nivel de mar sobre el punto de referencia preestablecido.

$f_i =$ factor de reducción de la amplitud media.

$H_i, k_i =$ constantes armónicas a determinar.

Lo anterior no es otra cosa que la suma de las contribuciones de los diferentes constituyentes en los que la marea se descompone, de acuerdo con el modelo de Laplace de la teoría del equilibrio. Heaps. 1980 (2). Gutiérrez, 1981 (3).

El análisis mareográfico clásico o análisis armónico de las mareas se basa, entonces, en la suposición de que el flujo y reflujo de la marea en una localidad dada puede ser representado por la suma de una serie de términos armónicos conectados en un determi-



Representación gráfica de la altura de una componente de marea
 $(y_1 = fH) \cos(at + V + u - K)$

FIG. 2

D/G. Hernández R. (81)

$(y_1 = fH \cos(at + V + u - k)$ de un componente de marea en el instante T.

No siempre resulta conveniente representar la fase de un constituyente mediante el parámetro k . Así, y con la finalidad de poder confrontar las fases del mismo constituyente de marea en las diversas localidades del planeta (4) se suele emplear en vez de k , la "fase modificada":

$G = k + PL$ ($P =$ factor de especificación), tomando así en consideración la longitud relativa o bien:

$g = G - a S/15$ ($S =$ longitud) tomando así en cuenta, también el huso horario del punto en consideración: g , entonces, resulta independiente de la localidad y el tiempo de registro (5).

MÉTODOS ARMÓNICOS DE ANÁLISIS DE LAS MAREAS

Los métodos armónicos de análisis de las mareas se fundamentan en el

principio de "inducción mareográfica" de Laplace, según el cual los constituyentes de la marea de equilibrio encuentran en la realidad correspondientes constituyentes de mareas con velocidades y fases iguales y amplitudes diferentes.

Varios individuos y grupos de investigación, con anterioridad, trataron de conseguir un método adecuado de análisis de las mareas; no obstante, se puede decir que no fue sino A. T. Doodson (1921), quien logró depurar el método armónico de análisis de las mareas, en modo de superar las dos mayores dificultades características de los métodos precedentes: la gran laboriosidad y la escasa eficacia en la eliminación de las oscilaciones no deseadas. Su método, tal y cual fue concebido o con ligeras modificaciones introducidas por otros investigadores, sea quizá, a partir de entonces, el que ha tenido mayor acogida en el ámbito de la previsión de las mareas (6, 7).

GRUPO	Nombre ONDA	DOODSON 360		DOODSON 29		FILTRI 1 ANNO		FILTRI 3 ANNI	
		Amp. (cm)	Fase g	Amp. (cm)	Fase g	Amp. (cm)	Fase g	Amp. (cm)	Fase g
1	2Q ₁ O ₁	0,09	348,5			0,13	328,6	0,09	339,3
		0,14	28,9			0,23	312,6	0,04	30,2
2	O ₁ P ₁	1,30	82,1			1,22	64,6	0,83	53,9
		0,26	118,4			0,45	69,5	0,22	48,5
3	O ₁ MP ₁	4,08	29,4	3,93	14,8	3,74	16,5	3,37	17,5
		0,21	119,0			0,37	265,0	0,24	5,4
4	M ₁	0,36	20,3	0,75	330,6	0,55	38,0	0,36	48,5
5	I ₁ P ₁ S ₁ K ₁ ψ ₁ φ ₁	0,19	10,9			0,21	40,7	0,10	31,5
		3,29	342,3			3,30	341,6	3,22	347,7
		0,98	88,9			1,01	92,5	1,03	72,7
		10,26	344,6	10,28	345,7	10,20	345,5	9,84	347,6
		0,46	52,6			0,46	34,9	0,09	28,0
		0,24	345,4			0,30	317,5	0,26	345,3
6	ψ ₁ 1	0,46	324,8			0,44	313,6	0,25	338,8
		0,93	354,6	1,09	*	0,83	347,4	0,77	3,6
7	SO ₁ OO ₁	0,55	240,9			0,43	103,2	0,31	81,1
		1,08	337,0	1,48	340,3	1,01	345,5	0,56	13,5
8	MNS ₂	1,09	355,6			0,36	139,5	1,33	356,1
9	2N ₂ μ ₂	2,91	1,7			2,96	359,4	2,47	23,6
		3,81	17,6			3,61	17,2	4,02	20,4
10	N ₂ ν ₂	23,34	43,0	23,52	43,6	22,94	42,6	23,50	45,1
		3,93	47,7			3,87	47,9	4,53	46,4
11	M ₂	109,49	71,7	117,45	72,1	110,45	71,6	111,41	73,2
12	λ ₂ L ₂	0,39	41,9			0,53	85,0	0,69	101,4
		1,86	100,7	2,13	134,2	1,98	107,0	2,63	125,2
13	T ₂ S ₂ R ₂ K ₂	1,80	132,5			1,70	136,1	1,81	134,4
		26,00	127,0	26,19	126,7	26,03	127,0	25,69	127,3
		0,64	35,6			0,55	38,1	0,32	340,3
		6,08	120,7			5,64	120,4	5,34	128,2
14	KJ ₂	0,58	2,5			0,58	46,1	0,05	30,8

TABLA 1.

Constantes armónicas (C.A.) de Puntarenas calculadas por los diferentes métodos de análisis. (A partir de los datos de nivel de Puntarenas del año 1974).

Mecanismo del método armónico clásico de análisis de las mareas (Doodson, 1921).

El método opera del modo siguiente:

A partir de los datos de nivel horarios y mediante una serie de combinaciones lineales horarias se logra se-

parar las Especies de marea (constituyentes de marea de 0, 1, 2, . . . períodos completos en aproximadamente un día solar) SO, S1, S2 son, entonces, los constituyentes solares (especies solares de marea) con incrementos de fase de respectivamente 0°, 15°, 30°. . . por horas solar promedio. Para especies semidiurnas, como ejemplo, se obtienen

GRUPO	nombre ONDA	1974-1976		1974-1977	
		Amp. (cm)	Fase g	Amp. (cm)	Fase g
1	$2Q_1$	0,16	342,6	0,09	339,6
	O_1	0,03	55,5	0,04	30,2
2	Q_1	1,03	52,8	0,83	54,1
	Q_1	0,28	60,9	0,22	48,8
3	O_1	3,47	18,6	3,37	17,7
	MP_1	0,23	349,2	0,24	5,5
4	M_1	0,46	38,0	0,36	48,5
5	π_1	0,07	55,6	0,10	31,5
	P_1	3,21	347,8	3,22	347,8
	S_1	1,06	75,8	1,03	72,7
	K_1	10,09	346,5	9,84	347,5
	ψ_1	0,06	40,2	0,09	28,0
	ϕ_1	0,26	341,3	0,26	345,3
6	ν_1	0,27	328,1	0,25	338,8
	J_1	0,86	358,3	0,77	3,4
7	SO_1	0,28	88,9	0,31	81,1
	OO_1	0,72	4,8	0,56	12,9
8	MNS_2	1,35	353,0	1,33	356,1
9	$2N_2$	2,40	24,9	2,47	23,7
	μ_2	4,05	18,1	4,02	20,5
10	N_2	23,70	45,1	23,50	41,2
	ν_2	4,55	42,5	4,53	46,5
11	M_2	111,29	73,2	111,41	73,2
12	λ_2	0,60	125,4	0,69	101,4
	L_2	1,83	118,9	2,63	121,5
	T_2	2,05	137,8	1,81	133,9
13	S_2	25,65	127,1	25,69	127,3
	R_2	0,75	308,5	0,32	340,8
	K_2	5,85	129,9	5,34	128,2
14	KJ_2	0,31	349,5	0,05	30,7

TABLA 2.

Constantes armónicas de 30 componentes de marea de la localidad de Puntarenas obtenidas con el método Filtri 3 anni aplicado a los períodos 1974-76, 1974-77.

2 números: X2 y Y2 a los que afecta, con periodicidad quincenal, el constituyente principal lunar M2. El resto de los constituyentes semidiurnos se presentan en Grupos, según la periodicidad de las perturbaciones que éstas provocan en X2 y Y2. Así se determinan las funciones X pq y Y pq (p corresponde a la especie y q se refiere al grupo). El segundo sufijo indica que los constituyentes principales perturban a Xp con periodicidad q. Finalmente, cada constituyente del grupo q contribuye al valor Xpq con cantidades mensuales consecutivas de período entero r. Combinando oportunamente los valores Xpq se obtiene la cantidad Xpqr, determinada principalmente por la contribución de un constituyente elemental. Matemáticamente, si \mathcal{S} es la elevación de marea determinada por un cierto número de componentes del tipo $R \cos(\sigma t - \epsilon)$, con R, ϵ constantes armónicas a determinar, entonces, una forma alternativa para cada constituyente es:

$$A \cos \sigma t + B \sin \sigma t$$

El método de los cuadrados mínimos, por ejemplo, permite obtener los valores "mejores" de A y B en el límite, cuando N tiende a infinito, a partir de:

$$2/N \sum_{t=0}^N \mathcal{S} \cos \sigma t$$

$$2/N \sum_{t=0}^N \mathcal{S} \sin \sigma t,$$

respectivamente. En la práctica estos límites no se alcanzan pero se logra obtener buenas aproximaciones de A y B a partir de las observaciones relativas a un año completo de valores horarios, especialmente con una oportuna escogencia de N.

El cómputo de A y B viene efectuado usualmente en dos partes:

1. La asignación: Aquí las observaciones en las que $\cos \sigma t$ y $\sin \sigma t$ son iguales, vienen agrupadas. A las observaciones relativas a los constituyentes diurnos ($\sigma = 5$), entonces, para los cuales se cumple: $\sigma t = N 360^\circ \pm 7,5^\circ + 15^\circ$ (m, n = enteros) se les asigna el valor: $\sigma t = m 15^\circ$ ($m \leq 24$).
2. El análisis armónico: aquí los valores promedios de \mathcal{S} de cada grupo, obtenidos en el paso anterior se multiplican por los valores apropiados de $\cos m 15^\circ$, luego se suman los resultados y lo que resulta se divide por 12. Así se consigue el valor de A. Operaciones similares con $\sin m 15^\circ$ permiten el cálculo de B.

Los valores de A y B se expresan, por conveniencia, en el modo siguiente:

$$A = X + Y$$

$$B = X - Y$$

con X y Y (parámetros anteriormente considerados) "funciones-filtro pasabanda".

$$X = J R \cos(\rho t - \epsilon + \eta)$$

$$Y = J R \cos(\rho t - \epsilon + \eta')$$

con J, ρ = constantes.

T = número de días transcurridos desde $t = 0$.

η, η' = constantes que dependen de los valores iniciales de la hora del día, medida a partir de media noche.

GRUPO	nombre ONDA	DOODSON 29		FILTRI 1 ANNO	
		Amp. (cm)	Fase g	Amp. (cm)	Fase g
1	$2Q_1$ O_1			0,10	149,7
				0,12	143,0
2	O_1 O_1			1,13	144,2
				0,27	124,5
3	O_1 MP_1	6,15	152,0	7,26	151,3
				0,11	125,1
4	M_1	0,75	183,2	0,43	177,9
5	π_1 P_1 S_1 K_1 ψ_1 ϑ_1			0,63	180,5
				3,26	146,7
				0,51	25,7
		10,21	145,7	11,57	145,7
				0,24	62,1
				0,20	206,3
6	ν_1 J_1			0,18	93,1
		0,70	122,2	0,69	108,9
7	SO_1 OO_1			0,16	142,6
		0,62	134,6	0,91	138,4
8	MNS_2			0,14	349,9
9	$2N_2$ μ_2			0,54	284,3
				0,12	68,1
10	N_2 ν_2	2,26	312,9	2,24	312,9
				0,65	296,2
11	M_2	9,57	358,0	8,44	358,7
12	λ_2 L_2			0,25	65,7
		0,34	12,9	0,38	16,8
13	T_2 S_2 R_2 K_2			0,25	346,0
		1,85	148,2	1,53	153,4
				0,32	113,1
				0,62	108,3
14	KJ_2			0,03	145,3

TABLA 3.

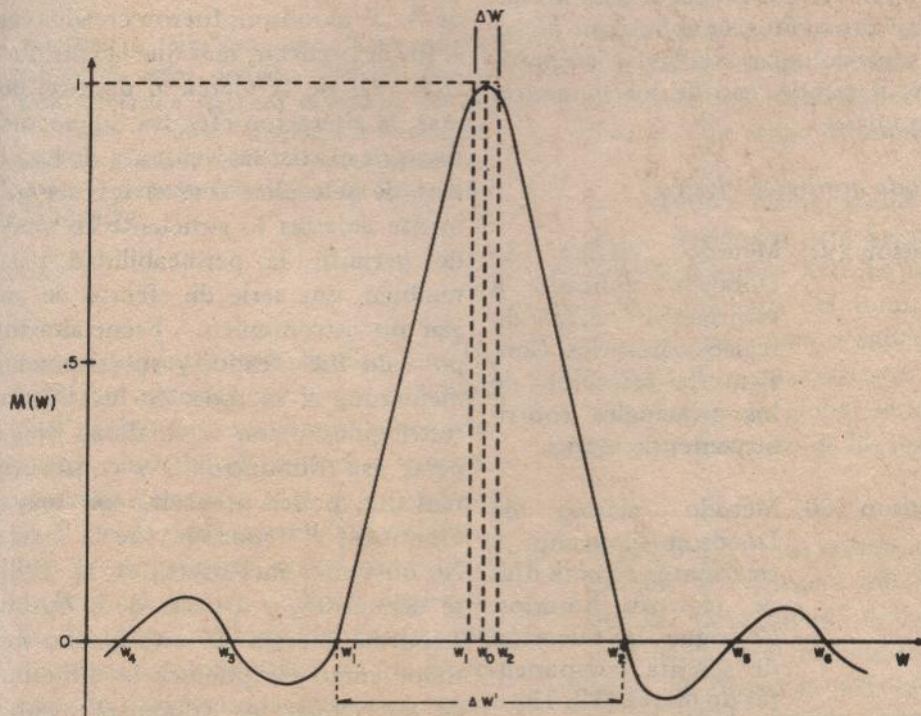
Constantes armónicas de Limón obtenidas con los métodos Doodson 29 y Filtri 1 año (a partir de la información de la localidad del año 1969).

$R, \epsilon =$ amplitud y fase (constantes armónicas) de los constituyentes.

Método de los filtros restringidos (Mosetti-Carrozzo, 1971).

Los principios del procedimiento aquí utilizado fueron empleados por primera vez en el año 1971 por F. Mosetti y L. Carrozzo. Al igual que el método clásico, ésta es una técnica de análisis armónico (esto quiere decir, que las frecuencias asociadas a los diversos constituyentes de marea son tratadas independientemente en modo de prever la contribución de cada uno de los constituyentes a la oscilación

general efectiva) cuya estrategia de separación de frecuencias es, esencialmente, la misma de aquél. No obstante, su poder de resolución es notablemente superior. Esto se debe al procedimiento particular de selección que utiliza, el cual, básicamente consiste en involucrar una banda restringida de frecuencias ΔW , en modo de separar cada grupo de componentes, luego, se procede a variar una cierta ΔW_0 ; esto es, la distancia entre los máximos (W_0) de las sucesivas "curvas de selectividad" (véase figura 3) oportunamente, para obtener entonces las respectivas funciones de selectividad de cada uno de los constituyentes elementales. Mosetti-Carrozzo. 1971 (8); Mosetti-Manca. 1972 (9).



ESQUEMA DE LA CURVA DE SELECTIVIDAD $M(W)$
FIG. 3

Dibujó: Gonzalo Hernández R. (81)

Los filtros son tan restringidos y selectivos que, en práctica, la influencia de las sesas y otros efectos perturbadores se vuelve completamente despreciable, no obstante una pequeña parte de su energía caiga en el intervalo de frecuencias seleccionado.

Preparación y tratamiento de los datos

Las series de datos de nivel de las localidades de Puntarenas y Limón fueron sometidos al "Test de Avounmouth" (10) con el fin de eliminar los eventuales errores de registro presentes en las series originales. Las interpolaciones se efectuaron según el criterio de "lisamiento" (smoothing) de Suthons (11).

Una vez así predispuestos los datos, se procedió a la aplicación de las dos metodologías citadas, y en particular, haciendo uso de los siguientes programas:

Método armónico clásico

Doodson 29: Método clásico de Doodson aplicado a veintinueve días de registros horarios. Consigue la selección de los principales contribuyentes de marea.

Doodson 360: Método clásico de Doodson aplicado a trescientos sesenta días de registros horarios. Consigue la selección de sesenta componentes de marea (12, 13).

Métodos de los filtros restringidos.

Filtri 1 anno: Método de los filtros restringidos aplicado a

la serie de un año de registros horarios. Separa treinta componentes de marea.

Filtri 3 anní: Método de los filtros restringidos aplicado a las series de tres o más años de registros horarios. Consigue la selección de treinta componentes de marea (14).

Cuadros mareográficos de Puntarenas y Limón.

Los métodos de análisis de la marea, y en particular el más aceptado y difundido de ellos: el método clásico de A. T. Doodson, fueron creados con el fin de predecir, más que la contribución real de la marea al desnivel del mar, la alteración efectiva de ése, motivo por el cual las ventanas de los filtros de selección fueron intencionalmente abiertas lo suficiente en modo de permitir la permeabilidad para, también, una serie de efectos de origen no astronómico. Esencialmente por ello fue creado, y sucesivamente mejorado, el método de los "filtros restringidos", con la finalidad de superar esa "limitación", y consecuentemente, poder predecir, con mayor exactitud, el fenómeno de la marea. No obstante, en Mosetti, et al. 1981, se demuestra, y a pesar de la óptima respuesta teórica de este último método, cómo en práctica la dificultad de seleccionar los diferentes componentes de marea, especialmente aquellos de menor amplitud, permanece. Esto sucede porque, e independientemente de la eficiencia del método de análisis usado, siempre subsiste un dis-

	Ampl. media (cm)	Fase media (o)
Largo período	SA	6,53
	SSA	4,08
	MM	1,00
	MSF	1,30
	MF	1,56
diurnas	MO3	<0,5
	M3	<0,5
	SK3	0,64
diurnas	M4	1,79
	MS4	0,96

TABLA 4.

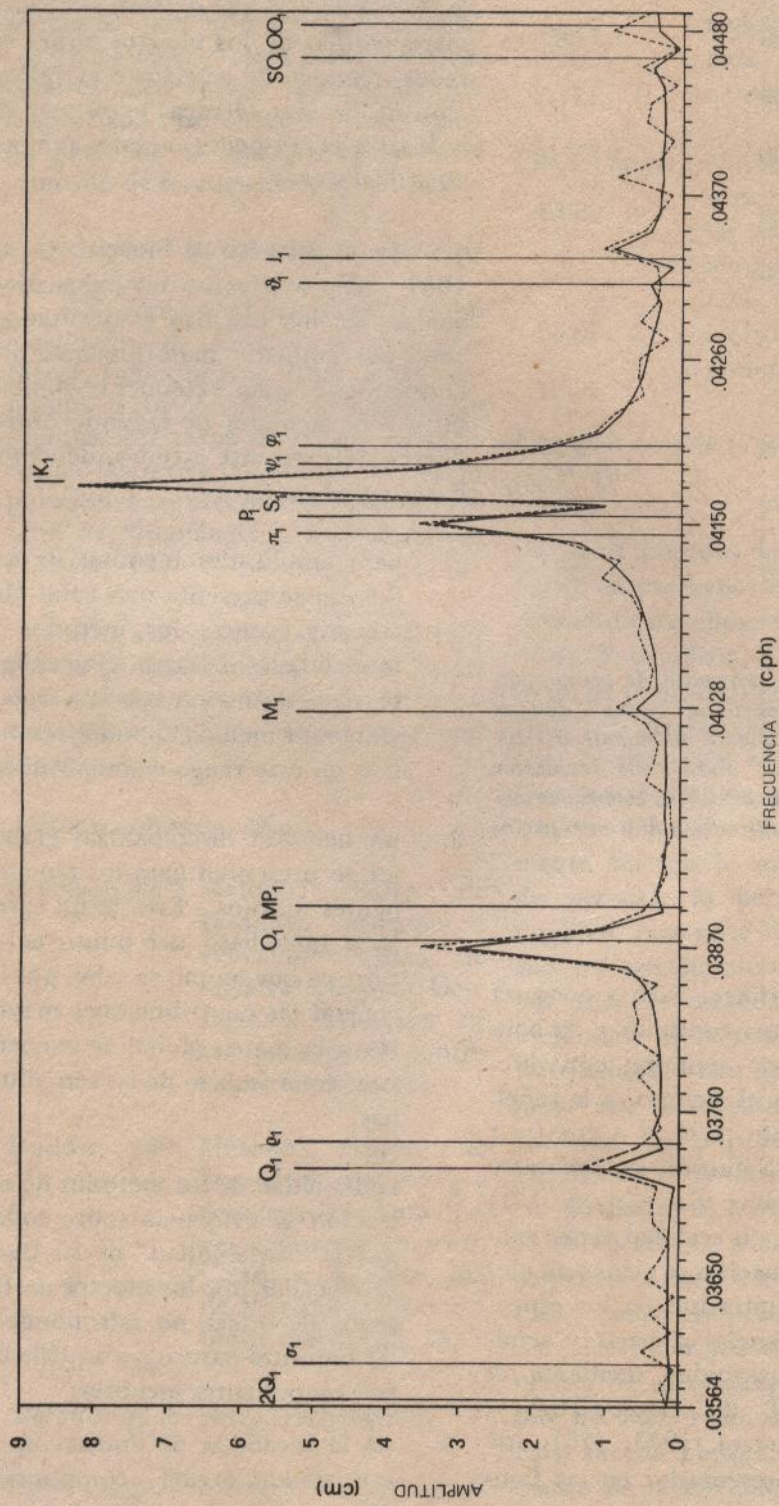
Amplitud y fase promedio de las componentes de largo período, "terzo" diurnas (con desviación standard fluctuante del 10-50 o/o) y "cuarto" diurnas (de desviación standard asociada del 0-1 o/o) calculadas mediante el programa Doodson 360 en el período 1974-77.

turbio que interfiere. Este se presenta como un espectro continuo o "a bandas" sobrepuesto siempre, con diferentes pesos en el tiempo, a la señal. Matemáticamente, si $\eta = a \cos (w t + \varphi)$ es la onda sinusoidal a separar y $f(t)$ es el disturbio, $\eta * = \eta + f(t)$ es la señal que en realidad viene analizada. Esta situación se evidencia mediante la confrontación de los espectros de "frecuencias diurnas y semi-diurnas" —conseguidos mediante el algoritmo FFT de Cooley-Turkey; Bendat and Piersol, 1971. (15)— de Puntarenas representados en las figuras 4 y 5.

A continuación nos referiremos a las tablas 1, 2, 3 que definen el cuadro mareográfico de los puertos arriba citados, conseguido mediante la aplicación de las dos técnicas expuestas de análisis a las respectivas series temporales de datos.

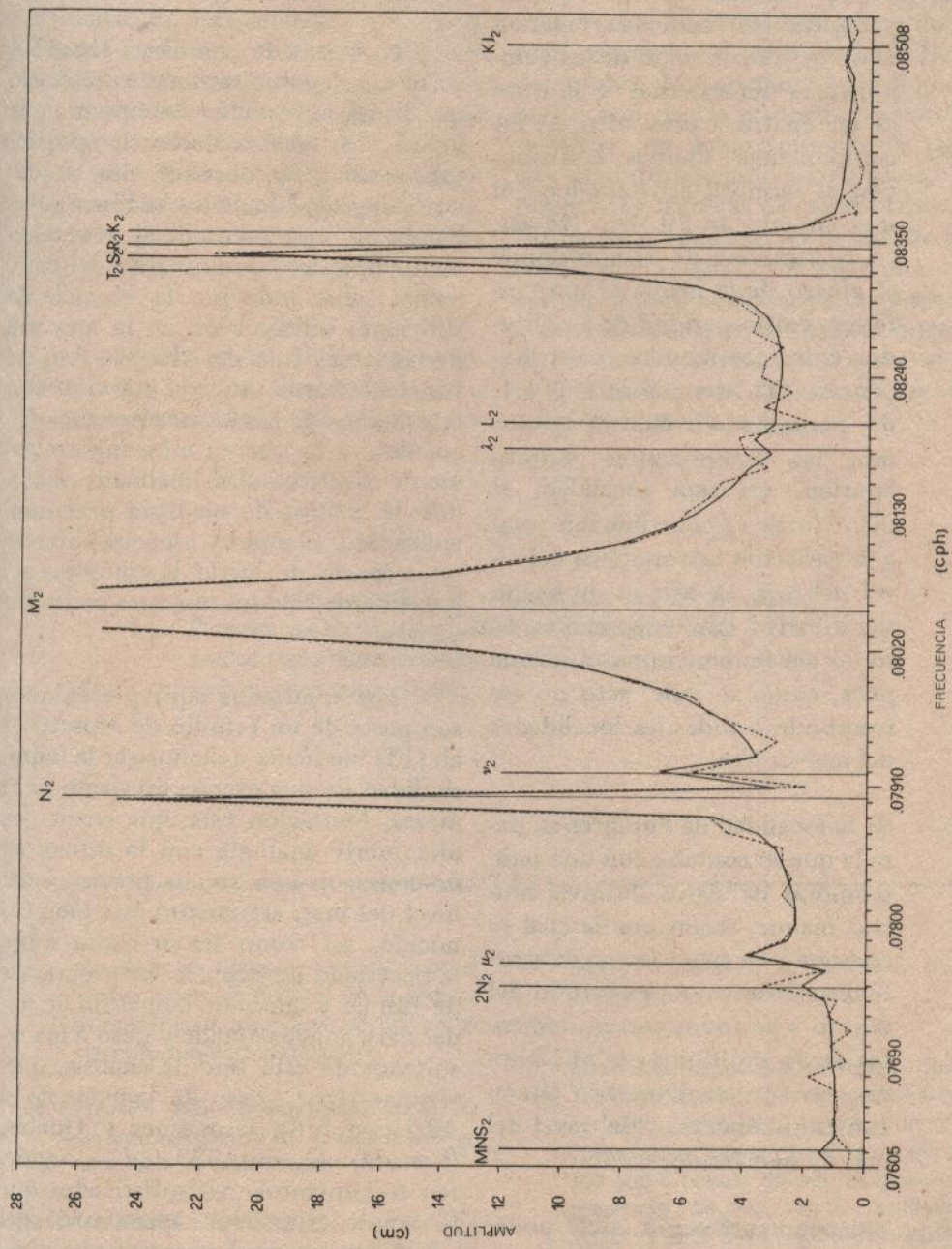
En el artículo de Mosetti. et al. 1981 (13), se efectuó un exhaustivo análisis de los cálculos y resultados, aquí parcialmente manifestados; por consiguiente, y sin extender el comentario a particulares de segundo orden dentro del presente estudio, debemos hacer notar como:

1. para amplitudes menores de los 0,5 cm se presenta una total discrepancia entre los métodos y modalidades de éstos. Obviamente, el disturbio que subsiste afecta en mayor medida el poder resolutivo en este rango de amplitudes;
2. las mayores discrepancias globales se presentan para los componentes diurnos. Esto es un corolario inmediato del punto anterior, ya que, como se sabe, por lo general las contribuciones mayores a la marea global se encuentran en el ámbito de las semi-diurnas;
3. la debilidad de los métodos de selección se evidencia sobre todo, por la "variabilidad" de las fases provocadas por los efectos desfasados de origen no astronómico, de amplitud parecida a aquélla de las componentes menores;
4. en la localidad de Puntarenas la contribución del componente M2 es de gran envergadura ma-



Espectro FFT de "frecuencias diurnas" teórico (curva continua) y observado (curva punteada) en Puntarenas. 1974.

FIG. 4



Espectro FFT de "frecuencias semi-diurnas" teórico (curva continua) y observado (curva punteada) en Puntarenas, 1974.

FIG. 5

yor que la del resto de las componentes así como la relación entre la contribución de las componentes semidiurnas y diurnas es de cuatro a uno; esto es, las componentes diurnas contribuyen al desnivel astronómico del mar en solo un 20 0/o. No así, en la localidad de Limón donde el efecto de la marea es muy inferior, existe paridad de amplitudes entre los mayores contribuyentes: M2, semidiurno, y K1, de periodicidad diurna; asimismo, las componentes diurnas aportan, en esta localidad, el 60 0/o de la contribución total a la variación astronómica del nivel del mar. Y este es un hecho significativo que exige mayor estudio del fenómeno en esta zona pues, como se sabe, esto no corresponde a todas las localidades del mar Caribe;

5. en la localidad de Puntarenas, para la que se contaba con una serie temporal de datos de nivel mucho mayor, razón por la cual se consiguió en este caso un exhaustivo análisis y una extensión del mismo a períodos correspondientes otros, múltiplos de las 12 horas, no se han detectado alteraciones astronómicas del nivel del mar de significado, y
6. independientemente del poder resolutivo de la respectiva técnica de análisis resulta imposible la definición de la contribución de los componentes menores a la marea total de la localidad.

COMENTARIO FINAL

La marea de una cierta localidad es un fenómeno estrictamente físico que llamó la atención del hombre y le incitó a su análisis desde tiempos inmemorables. No obstante ello, su previsión ha sido, desde los inicios, concebida con una mentalidad exclusivamente práctica, aproximativa del fenómeno, sobre todo por la ausencia de suficiente información en la mayoría de las localidades del planeta. Así, las constantes armónicas de marea de casi la totalidad de los lugares han sido calculadas, y lo que es más, incorrectamente confrontadas, mediante métodos de análisis de mediana precisión, aplicadas a tiempos y espacios diferentes, capaces de lograr la completa separación de sólo los mayores contribuyentes.

Los resultados aquí presentados son parte de un estudio de Mosetti et al. (13) tendiente a demostrar la imposibilidad de una precisa previsión de la marea, limitación ésta, que encuentra una fuerte analogía con la dificultad de conseguir una precisa previsión del nivel del mar, argumento éste bien conocido; así como sentar causa sobre la necesidad de depurar los programas de filtraje y selección con el fin de poder darle mayor detalle y peso a los resultados de este tipo de análisis, que, algunas veces —caso de Venecia en el Adriático (16), Grondines y Quebec (Canadá): Godin 1973 (17)— requieren tratamientos más sofisticados que la simple estimación aproximada del aporte de los componentes usualmente calculados.

Por otro lado, es necesario reconocer que un análisis físico exhaustivo del fenómeno marea, que haga uso de los filtrajes y correlaciones pertinentes en modo de producir un resultado fi-

nal satisfactorio, se vuelve hoy día exclusividad de particularísimas localidades que cuenten con largas series temporales ininterrumpidas de datos. En tal caso, estimaciones como la que ofrece el método clásico de análisis: Doodson 29, idóneo para fines prácticos, en la mayoría de los casos se convierte en la más acertada posibilidad (18).

Los puertos de Puntarenas y Límón no son la excepción de la "norma de discontinuidades" que por lo gene-

ral presentan los registros de la gran mayoría de las estaciones primarias de registro de las diferentes localidades del globo. No obstante, y habiendo hecho uso de las respectivas series de registros con menor número de lagunas de información, así como de las respectivas técnicas de interpolación y filtraje comentadas en el desarrollo anterior, se ha logrado obtener una más amplia descomposición de la marea en esas localidades, en un primer intento de superar lo aproximativo y entrar en el detalle de la real fisonomía física de nuestros litorales.

El autor agradece la colaboración del doctor Nicolás Purga de la Cátedra de Mediciones Oceanográficas de la Universidad de Trieste en la elaboración de la información utilizada en el presente estudio.

NOTAS

- (1) Oscilaciones libres provocadas por el viento, cambios bruscos en la presión atmosférica o, algunas veces, por un terremoto submarino o costero.
- (2) HEAPS, 1980. **Ocean tides** (Part I). International Centre for Theoretical Physics. (SMR/74-1). Trieste.
- (3) GUTIERREZ, 1981. *Tesis de grado*. Instituto de Física. Universidad de Trieste. Italia.
- (4) En un estudio efectuado recientemente por Mossetti, et al. 1981. (13), se demuestra como esto es improcedente en la mayoría de los casos.
- (5) En el presente trabajo se usa g , respetando la notación y el criterio de la mayor parte de los autores.
- (6) Hace algunos años Cartwright y Munk (7) introdujeron el "método no armónico de la respuesta" de previsión de la marea, en el que se prevee la misma como suma pesada de valores pasados y presentes de su valor promedio: $\bar{\zeta}(t) = \sum_s w(s) \bar{\zeta}(t-Ts)$. Este conduce a resultados similares a los del método armónico clásico, de ciertas ventajas, en casos particulares.
- (7) MUNK y CARTWRIGHT. 1965. **Tidal Spectroscopy and prediction**. Institute of Geophysics and Planetary Physics. La Jolla, California.

- (8) MOSETTI-CARROZZO. 1971. **Some considerations of a method for tides and seiches analysis.** Bolletino di Geofisica e Meteorologia (BGM). Roma.
- (9) MOSETTI-MANCA. 1972. **New methods of tides and seiches analysis: applications in the Adriatic Sea.** BGM. Roma.
- (10) LENON. 1965. **The treatment of hourly elevation of tide using and IBM 1620.** IHR. London.
- (11) GODIN. 1972. **The analysis of tides.** Liverpool University Press. London.
- (12) En (13) Mosetti. et al. 1981, se demuestra que esto por lo general no es válido.
- (13) Ver MOSETTI-PURGA-GUTIERREZ. 1981. *On the indetermination of tidal harmonic constants en Revista del Nuovo Cimento.* Torino.
- (14) En la presentación de las respectivas tablas mareográficas nos hemos restringido a la gama de las frecuencias diurnas y semidiurnas por ser este intervalo de frecuencias el que efectivamente define el fenómeno de marea en las localidades estudiadas. En la localidad de Límón, además, no se contaba con la suficiente información para la separación de un mayor número de componentes.
- La Tabla 4 brinda una estimación promedio (conseguida mediante el programa Doodson 360) de las características de los componentes de marea más significativas en la gama de los largos períodos (mayores al día), "terzo" y "cuarto" diurnos, para la localidad de Puntarenas. La estimación promedio de fases y amplitudes, a partir de cuatro años de alturas horarias de nivel, asocia una desviación standard fluctuante del 10-50 % debido a la escasez de información (caso de las bajas frecuencias) y al bajo poder resolutivo del método en la separación de las componentes menores (caso de las "terzo" diurnas). La estimación promedio para las componentes "cuarto" diurnas, por el contrario, fue satisfactoria.
- (15) BENDAT and PIERSON. 1971. **Random data: Analysis and Measurements procedures** Wiley Interscience. New York.
- (16) El problema del "agua alta" en Venecia es uno de los fenómenos de marea de mayor repercusión en el momento presente, debido, sobre todo, a la importancia histórica de esa localidad que, con el paso de los años, está siendo paulatinamente inundada por el mar Adriático.
- (17) GODIN. 1973. **8 years of observations of the water level at Quebec and Grodines** (Part I). Manuscript Series N^o 31 of Science Directorate. Dept. of the Environment, Ottawa.
- (18) SANTOS. 1965. **Harmonic analysis of tides for 7 days of hourly observations.** IHR. London.