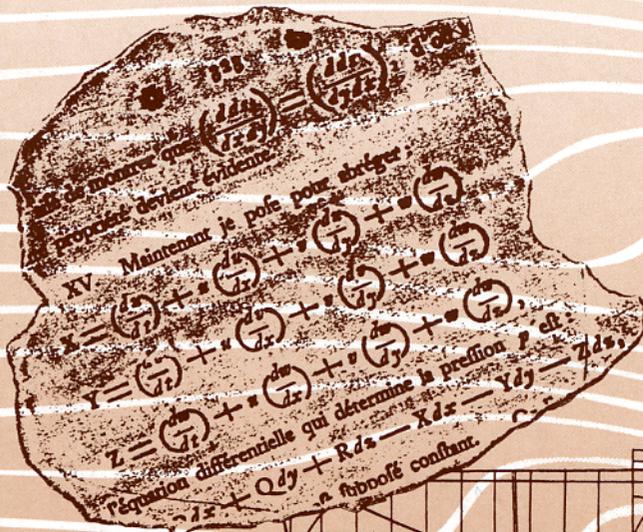
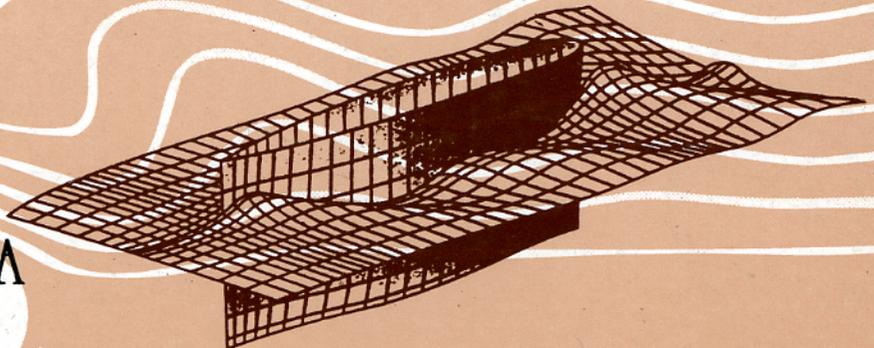


# Ingeniería

Revista de la Universidad de Costa Rica  
JULIO/DICIEMBRE 1993 VOLUMEN 3 No. 2



INGENIERIA  
1993



## HIDRAULICA MAREAL DEL GOLFO DE NICOYA SUPERIOR

*Luis M. Murillo B., Ing, Ph.D\**

### Resumen

Se establecen las características hidráulicas elementales del Golfo de Nicoya Superior (GNS). Se usan resultados tentativos obtenidos con un modelo hidrodinámico bidimensional, mediciones rudimentarias de corta duración (horas) y la parametrización de Goodwin (1974) para definir la importancia de los términos inerciales y de fricción en la ecuación unidimensional de momento. Se concluye que la ola de marea del GNS se comporta de forma unidimensional con pocas pérdidas de energía y está dominada por los términos inerciales de la ecuación de momento hasta la Isla Chira. De allí para arriba, la fricción domina la propagación de la ola de marea en el GNS disminuyendo el factor de amplificación. El coeficiente inercial es generalmente mucho más grande que el coeficiente de fricción. Esto redundará en amplificaciones del 50% en Punta de Piedra con respecto a Puntarenas. En la cercanía de Punta Morales esta relación se comienza a invertir hasta que en Puerto Moreno la fricción se vuelve dominante. El diagrama de fases muestra un gradiente constante en ambas partes, inferior y superior del Golfo de Nicoya, con un cambio de pendiente del 100% en las cercanías de Punta Morales. Se predice un desfase neto de 55 minutos entre Puntarenas y Puerto Moreno para una marea típica de 3 m. Debido a la poca profundidad y al dominio inercial que produce fuertes corrientes, el GNS tiene un régimen de mezclado intenso. Este régimen de mezclado le permite a las aguas un alto grado de reoxigenación que, junto con una fuerte actividad de algas productoras de oxígeno, puede explicar las zonas de super-saturación que se observan a pesar de las descargas de afluente municipal no tratado, originado en los poblados circundantes.

### Summary

Basic hydraulic characteristics of the upper Gulf of Nicoya are established. Short duration, manual, tidal measurements are used to infer the importance of the inertial and frictional terms following Goodwin (1974). The Gulf is dominated by the inertia terms in its upper reaches. Friction dominates above Chira island. A total 55 minute phase difference is predicted between the entrance and the mouth of this tropical estuary. An net amplification of 30% is also measured and explained in terms of inertial dominance which also enhances turbulence and reaeration levels.

### 1. INTRODUCCION

El Golfo de Nicoya Superior (GNS) es uno de los cuerpos de agua interiores más importantes de Centroamérica. Por años las gentes de Costa Rica lo han usado para pescar, transportarse, recrearse y como un lugar donde descargar el afluente municipal de los poblados cercanos. Esto ha sucedido

al punto de que hoy el GNS se encuentra sometido a un nivel de esfuerzo ambiental sin precedentes en su historia debido a desarrollos civiles planeados y no planeados. En Puntarenas solamente se descarga el equivalente orgánico de alrededor de 50,000 habitantes en su mayoría sin tratamiento alguno. Aun se hace difícil cuantificar la descarga municipal de los pueblos cercanos al Golfo y su efecto sobre la fauna y la flora. Esto es especialmente difícil por cuanto desconocen las características hidráulicas elementales del sitio, originadas en las mareas, así como la dinámica

del intercambio de sus aguas con el Golfo de Nicoya inferior y el mar exterior (El Pacífico Tropical Este o PTE) a escalas temporales cortas (i.e de horas). Este estudio pretende esclarecer las características elementales de la cinemática y dinámica mareal del GNS. Se usan resultados obtenidos con un modelo hidrodinámico bidimensional, mediciones de corta duración (horas), características morfológicas y la parametrización de Goodwin (1974) para definir la importancia de los términos inerciales y de fricción de la ecuación unidimensional de momento. Murillo (1982 y 1991) aplicó un modelo hidrodinámico para predecir la propagación de la marea en el Golfo de Nicoya y concluyó que su comportamiento en el GNS era básicamente longitudinal con las velocidades apuntando siempre en dirección del eje del Golfo. Las líneas isomareales deberían entonces ser perpendiculares al eje. La amplificación depende, según Murillo 1982, de la forma como se modele la función de excitación a la entrada del Golfo, el coeficiente de Chèzy y su desfase de entrada; sin embargo, no existió entonces información de campo sobre estos parámetros.

## 2. LAS ECUACIONES FUNDAMENTALES

Según Murillo (1982 y 1991) el comportamiento de la marea en el GNS es unidimensional. Por consiguiente es posible modelar la circulación mareal en el GNS con las versiones unidimensionales de la ecuación de momento y conservación de masa tal y como lo hace Goodwin (1974). Estas ecuaciones se pueden escribir de la siguiente manera (véase por ejemplo Sabersky y Acosta 1964)

$$\frac{\partial H}{\partial x} + \frac{1}{gA} \frac{\partial Q}{\partial t} - \frac{BQ}{gA^2} \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{b}{C^2 A^3} |Q|Q = 0 \quad (1)$$

y

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + B \frac{\partial H}{\partial t} = 0 \quad (2)$$

Al hacer su análisis dimensional Goodwin desarrolla dos parámetros físicos que gobiernan la propagación de la ola de marea. El primero de ellos es el Coeficiente de Fricción  $K_f$  que se puede

obtener de las ecuaciones (1) y (2) mediante eliminación de los términos inerciales y asumiendo régimen permanente. La ecuación (1) se reduce entonces a

$$\frac{\partial H}{\partial x} + \frac{b}{C^2 A^3} |Q|Q = 0 \quad (3)$$

Al substituir la ecuación (2) y simplificar Goodwin obtiene el Coeficiente de Fricción que se puede escribir como

$$K_f = \frac{4\pi b L S^2}{C^2 A^3 T^2} H \quad (4)$$

En esta ecuación Goodwin (1974) substituye la altura de marea en la bahía  $H$  por la altura de marea a la entrada de la bahía  $H_0$ . Similarmente, partiendo de la ecuación (1) y eliminando los términos de fricción se obtiene

$$\frac{\partial H}{\partial x} + \frac{1}{gA} \frac{\partial Q}{\partial t} = 0 \quad (5)$$

que combinado de nuevo con la ecuación de conservación de masa (2) produce el coeficiente inercial que se puede escribir como

$$K_i = \frac{4\pi^2 SL}{gAT^2} \quad (6)$$

$$C = \frac{C_0}{n} R_h^{1/6} = \frac{C_0}{n} D^{1/6} \quad (7)$$

Usando la ecuación para el coeficiente de Chèzy se pueden combinar las ecuaciones para  $K_f$  y  $K_i$  según

$$K_f = K_i \frac{n^2}{\pi C_0} \left[ \frac{L}{D^{7/3}} \right] \quad (8)$$

De las ecuaciones (2) y (5) por eliminación del término del flujo  $Q$  se puede obtener la ecuación de onda para la altura  $H$  asumiendo que el área transversal  $A$  es constante entonces

$$\frac{1}{gD} \frac{\partial^2 H}{\partial t^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} = 0 \quad (9)$$

De manera similar se puede proceder para obtener una ecuación de onda para el flujo eliminando la dependencia en la altura  $H$ . La velocidad de la onda es entonces

$$C_{ph} = \sqrt{gD} \quad (10)$$

Para la velocidad de la corriente podemos usar las propiedades unidimensionales anteriormente discutidas para establecer la ecuación de velocidad máxima de Keulegan (1967) según la cual

$$V_{\max} = \frac{2\pi}{T} C_v \left[ \frac{S}{A} \right] H \quad (11)$$

Con la ecuación 10 se puede calcular la fase de la marea según

$$t = \int \frac{dx}{\sqrt{gD}} \quad (12)$$

### 3. EL COMPORTAMIENTO UNIDIMENSIONAL DEL GNS

La figura No. 1 muestra la forma general del Golfo de Nicoya. Según Murillo (1982) el Golfo

de Nicoya se puede dividir en dos partes. La parte inferior, en donde el campo de corrientes de marea es bidimensional con elipses bien definidas y la parte superior o GNS en donde las elipses de marea degeneran en movimientos axiales a lo largo del eje principal del Golfo. Su parte superior (GNS) se extiende de la línea que va de Puntarenas a la Isla San Lucas hacia el interior hasta Puerto Moreno, en la desembocadura del Río Tempisque. La figura No.2 muestra la topografía del Golfo. La figura No. 3 muestra las estaciones de interés para este estudio. Las estaciones 1-5 se consideran interiores. Las estaciones negativas se consideran como influenciadas por el Río Tempisque.

Para verificar el comportamiento unidimensional del GNS parcialmente, se procedió con mediciones simultáneas de alturas de marea en Lepanto, Isla Caballo y Punta Morales. Para este efecto y debido a la carencia de equipo y mareógrafos, se colocaron estudiantes en la cercanía de la playa, en los sitios de interés con una escala graduada, marcada manualmente por ellos mismos cada decímetro, con una longitud de 3.5 m, anclada por abajo mediante un aro de automóvil de 20 kgrs de peso. Se les pidió hacer lecturas del nivel del agua cada media hora durante 13 horas a partir del Jueves 13 de enero de 1992 a las 4 p.m. Para cada medición se sacó un promedio de cinco mediciones seguidas para eliminar el efecto de las

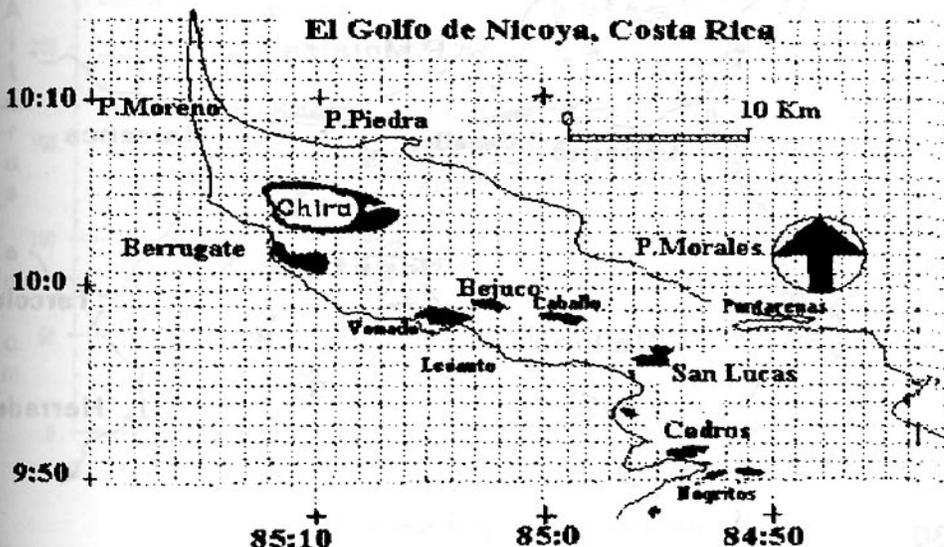


Figura 1. El Golfo de Nicoya, Costa Rica.

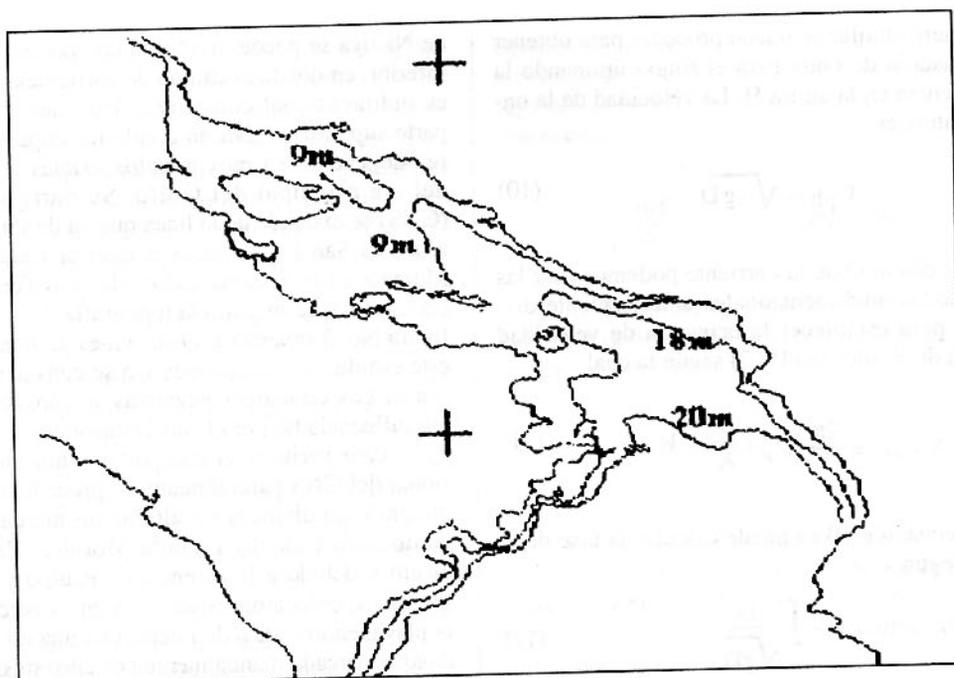


Figura 2. La batimetría del Golfo de Nicoya Superior (GNS), Costa Rica.

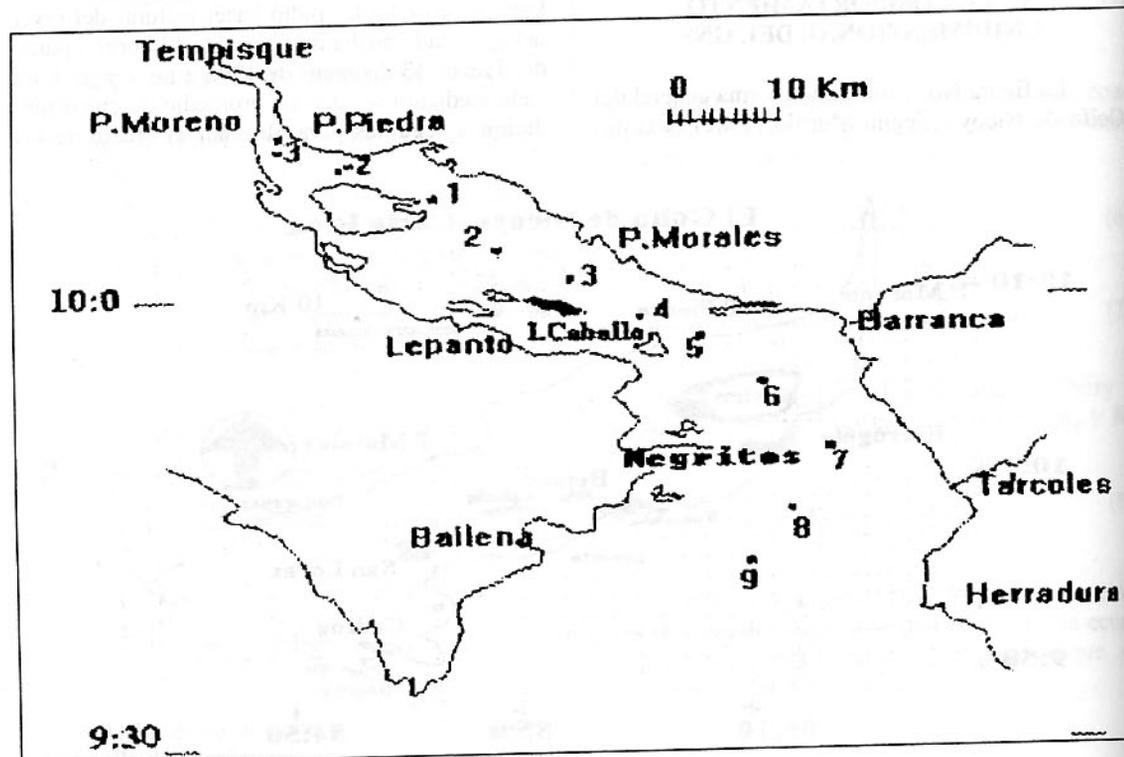


Figura 3. Las estaciones y su localización en el Golfo de Nicoya, Costa Rica.

olas y establecer el nivel de la marea. Luego, en el laboratorio, las alturas fueron reducidas a un nivel común temporal y espacial. Los resultados se muestran en la figura No. 4. Como se puede notar, dentro del margen de error del procedimiento rudimentario seguido, se puede afirmar que la marea en estos tres sitios fue simultánea. Esto concuerda con los resultados obtenidos al correr el Modelo Hidrodinámico de Murillo (1982).

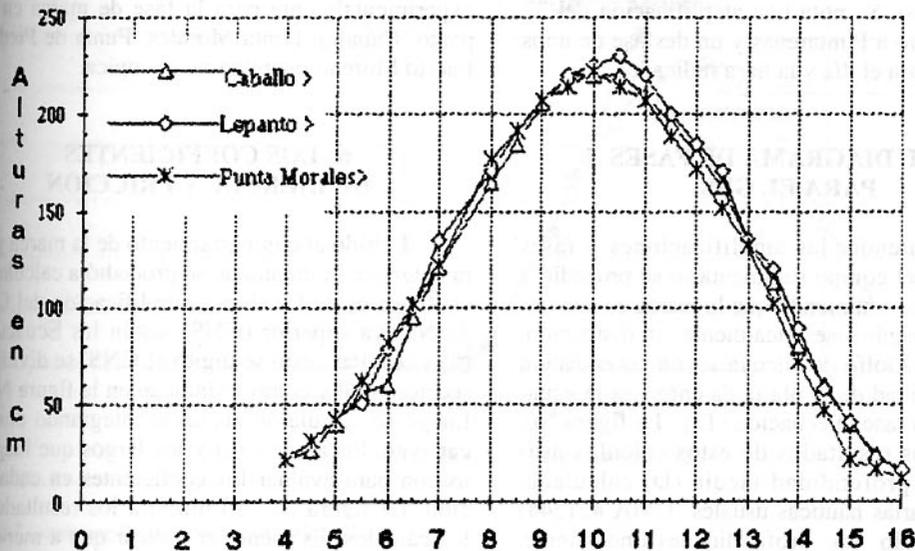
#### 4. EL COEFICIENTE DE AMPLIFICACION DEL GNS

Para tener una idea de la amplificación de la ola de marea que según Murillo (1982), se amplifica fuertemente al llegar a la cabeza del GNS, se procedió a hacer mediciones cortas (menos de 10 horas) rudimentarias, iguales a las ya discutidas en el apartado anterior, en sitios de interés. La figura No. 5 muestra los resultados para Punta de Piedra, cerca de la Isla Chira y la ciudad de Colorado. Se nota una fuerte amplificación de la altura de marea que causó varias sorpresas, pues el rudimentario equipo disponible hizo bastante incómodas las mediciones. En esta misma figura se nota como la altura de marea se amplifica un 50 % con respecto a la

marea en Puntarenas. Se nota también un desfase temporal de unos 50 minutos con respecto a la marea de Puntarenas para el día indicado.

La curva denominada Puntarenas en la figura No. 5 denota la altura de marea calculada para Puntarenas con una metodología predictiva verificada parcialmente para esta ciudad. Esta metodología se describe en Murillo (1994) e incluye el análisis armónico con optimización de frecuencias escondidas de una serie temporal de unos días de duración, obtenida por extrapolación con polinomios de tercer grado con verificación en los máximos y mínimos. Una vez reproducidos los extremos, se procede a generar una serie horaria de 29 días de duración que luego se analiza armónicamente mediante el método del Doodson. De este análisis se obtienen los 7 componentes armónicos más importantes que luego se usan para sintetizar la señal para Puntarenas según los procedimientos estándar (Shureman 1958). Esta señal es verificada por coincidencia de los mínimos y máximos con los valores observados en el muelle de Puntarenas. Una vez realizada la verificación se asume que el predictor esta "calibrado" para todas las épocas.

La figura No. 6 muestra la serie medida para Puerto Humo, en el Río Tempisque a unos 15 kilómetros aguas arriba de Puerto Moreno. Se nota



Tiempo en horas desde las 4 p.m., jueves 13 de febrero.

Figura 4. La altura de la marea en Lepanto, Isla Caballo y Punta Morales.

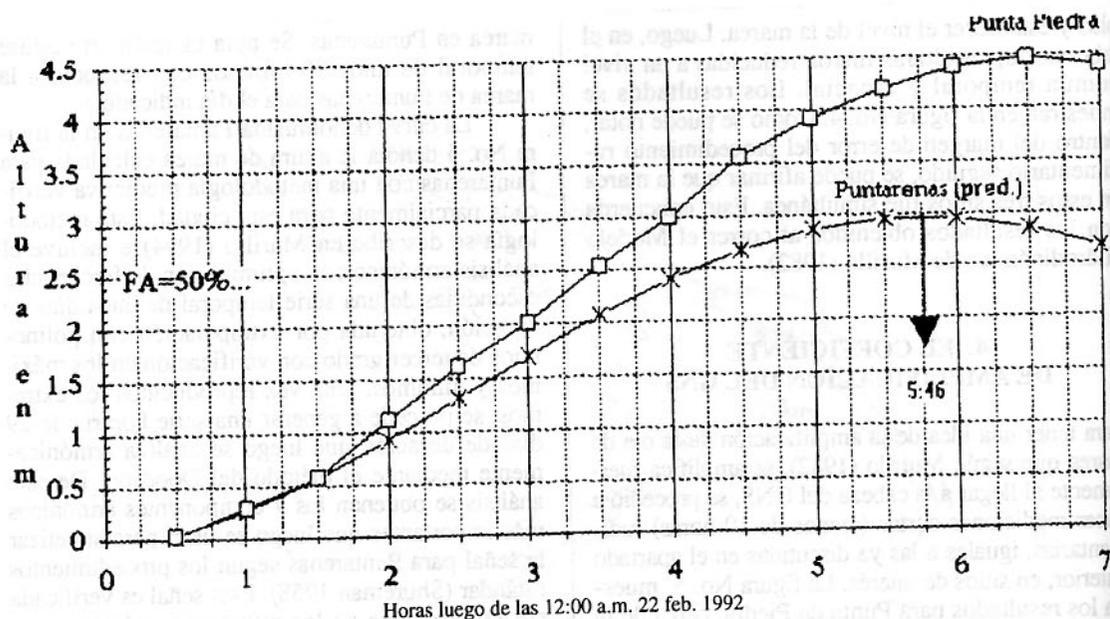


Figura 5. La marea medida en Punta de Piedra, comparada con la marea predicha para Puntarenas.

una amplificación de solo el 10% con respecto a Puntarenas. El desfase es de unas dos horas para el día y la fecha indicados.

La figura No. 7 muestra la serie medida en Puerto Moreno. Se nota una amplificación del 32% con respecto a Puntarenas y un desfase de unos 55 minutos para el día y la hora indicados.

## 5. EL DIAGRAMA DE FASES PARA EL GNS

Para entender las amplificaciones y fases medidas con el equipo rudimentario se procedió a calcular la fase asumiendo que la marea es una onda larga propagándose linealmente sin disipación, a lo largo del Golfo de Nicoya según la ecuación (9). La velocidad de la ola da entonces la ecuación (10) y la fase la ecuación (12). La figura No. 8 muestra los resultados de estos cálculos asumiendo una profundidad media ( $D$ ) calculada, usando las cartas náuticas usuales (DMA #21544) y amplificando las profundidades linealmente, según la altura de la marea un 32% con respecto a Puntarenas.

Se nota como la variación de la fase con la distancia es constante para el GNS hasta Punta Morales con una pendiente de 0.73 min/km. Para

arriba de Punta Morales la pendiente de la fase sigue constante, pero cambia de magnitud a 1.46 min/km. Al usar este gráfico se obtienen aproximadamente los mismos valores que los medidos experimentalmente para la fase de marea en Lepanto, Caballo, Punta Morales, Punta de Piedra y Puerto Moreno para una marea típica.

## 6. LOS COEFICIENTES DE INERCIA Y FRICCIÓN

Debido al comportamiento de la marea y para entender su dinámica, se procedió a calcular los coeficientes de fricción y amplificación del Golfo de Nicoya superior (GNS) según las Ecuaciones (4) y (6). Para esto se digitó el GNS, se dividió en secciones tal y como se indican en la figura No. 9. Luego se calcularon las áreas integrando numéricamente, los anchos ( $b$ ) y los largos que luego se usaron para evaluar los coeficientes en cada sección. La figura No. 10 muestra los resultados de los cálculos. Es menester indicar que a menos de que se amplifique la marea y se corrijan las profundidades correspondientemente, no se notará que en Punta de Piedra el coeficiente de fricción  $K_f$  se hace mayor que el coeficiente inercial  $K_I$ . Para los cálculos de la figura No. 10 se usó un

Mareas del 21.3.1991 Puerto Humo, Guanacaste

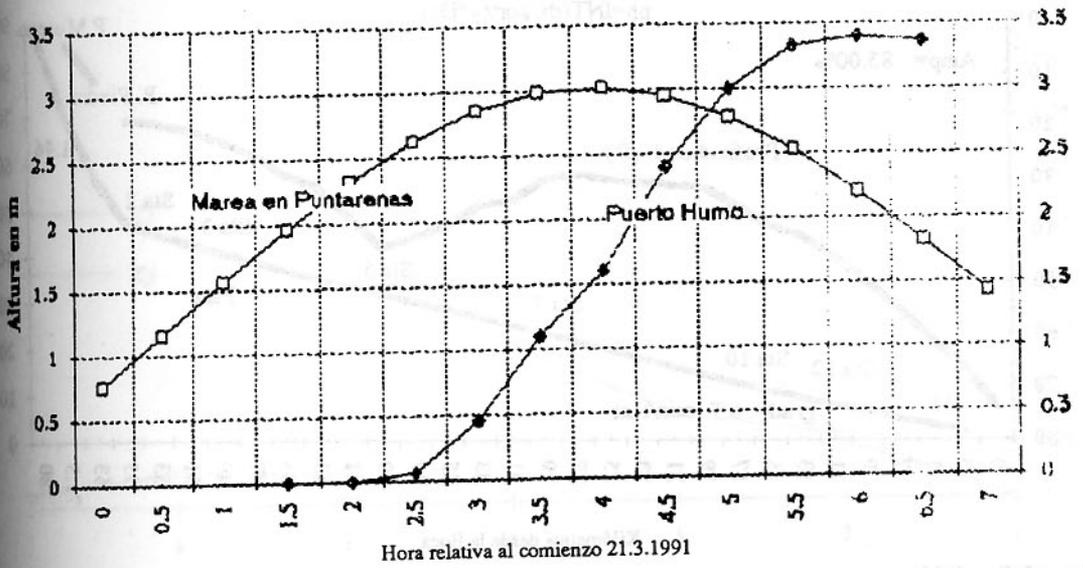


Figura 6. La marea en Puerto Humo, Guanacaste, el 21.3.1991.

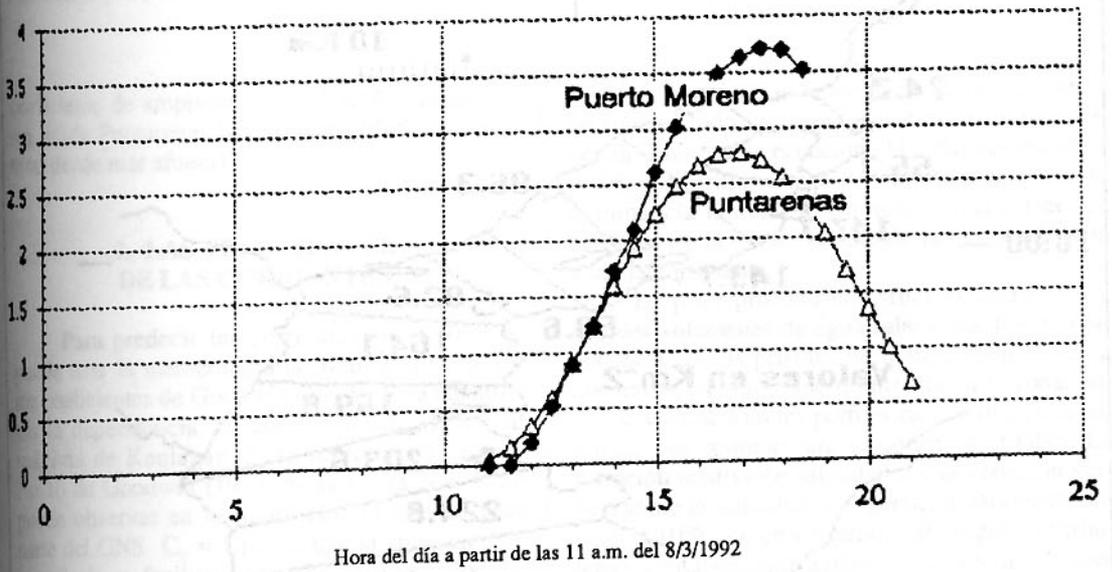


Figura 7. La marea en Puerto Moreno del 8/3/1992.

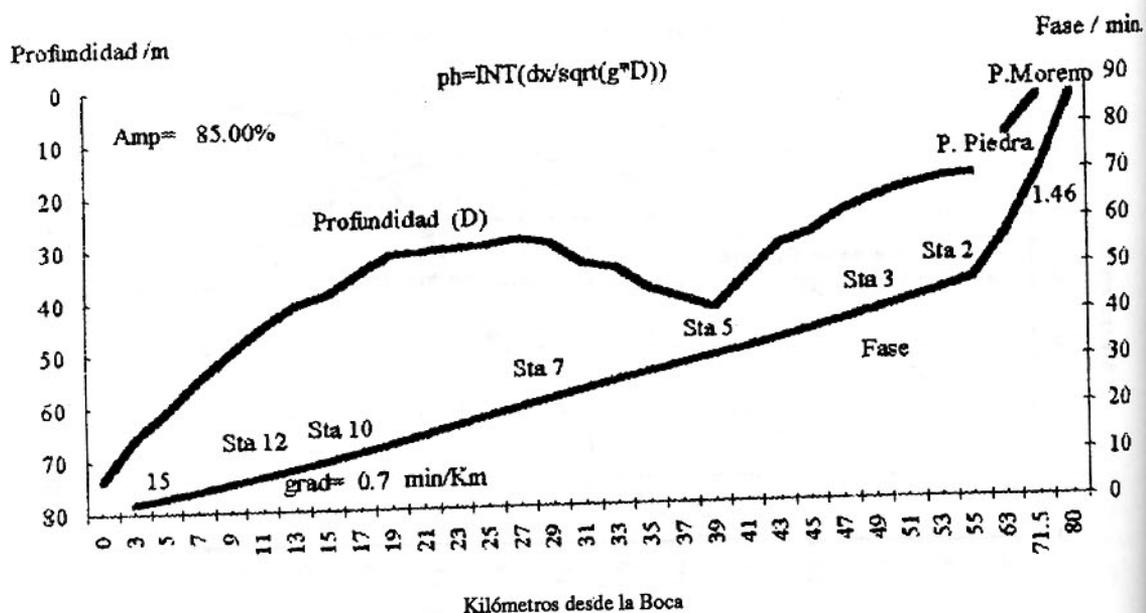
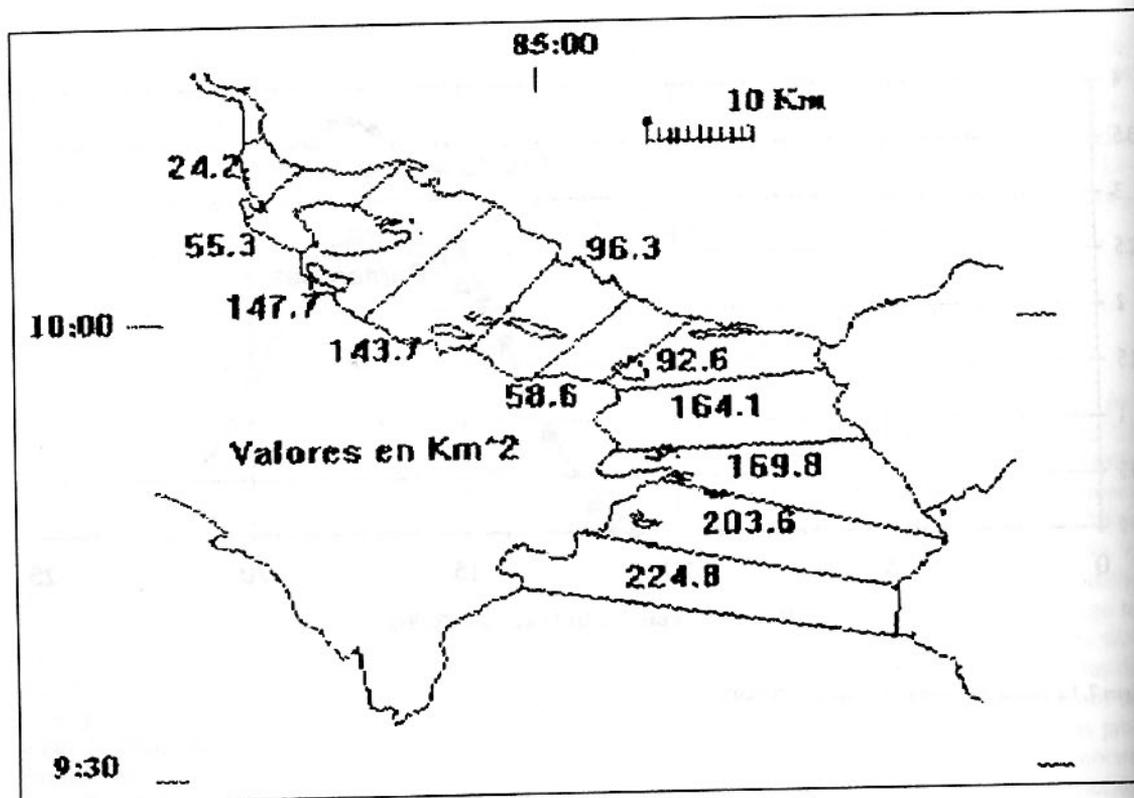


Figura 8. Fase de Marea.

Figura 9. Areas horizontales de las secciones en Km<sup>2</sup>

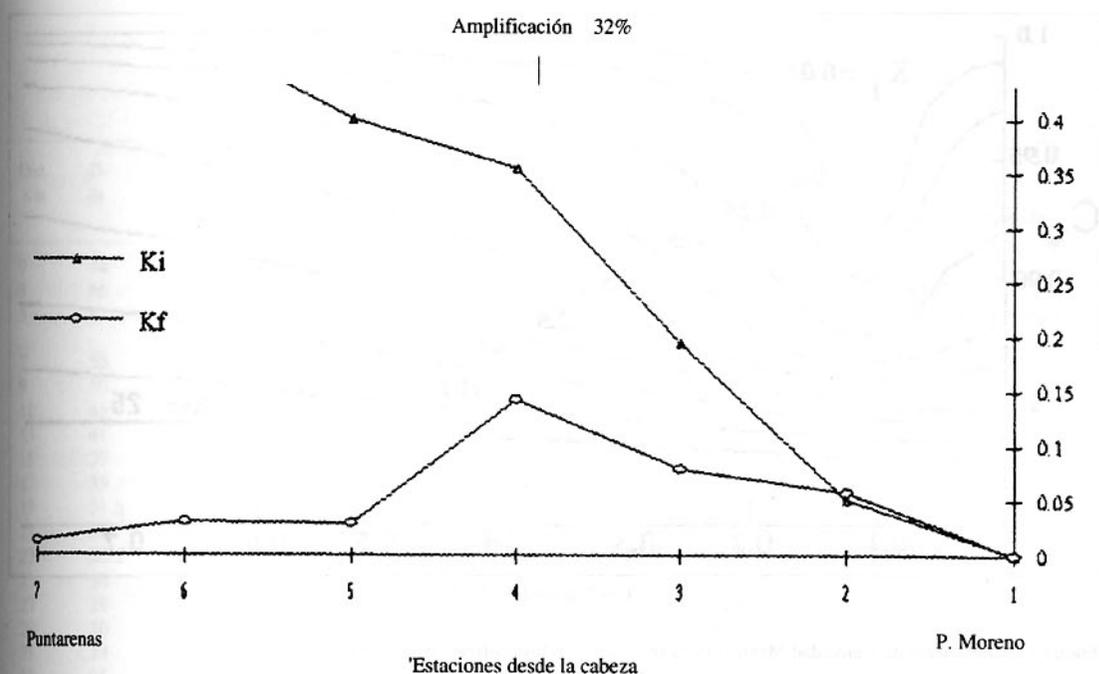


Figura 10.  $K_i$  y  $K_f$  para el Golfo de Nicoya Superior.

coeficiente de amplificación del 32% para la marea desde Puntarenas hasta Puerto Moreno (85 % total desde mar afuera).

## 7. LAS VELOCIDADES DE LAS CORRIENTES

Para predecir las corrientes en el GNS se puede usar la metodología de Keulegan (1967) y los coeficientes de Goodwin (1974). Para cuantificar la dependencia del coeficiente de velocidad máxima de Keulegan  $C_v$ , se reproduce la figura No.10 de Goodwin (1974) en la figura No.11. Se puede observar en la figura No. 11 que en gran parte del GNS  $C_v \approx 1$  por lo que la aplicación de ingeniería se facilita grandemente. Las velocidades son generalmente altas y debido a su dependencia inversa con la raíz cuadrada de la profundidad y directa con la amplitud, aumentará en las zonas superiores del GNS en donde la marea se amplifica significativamente (i.e. antes de llegar a la Isla Chira). Los resultados obtenidos con el Modelo Hidrodinámico, que se grafican en Murillo

(1991) y que señalan velocidades de 1 a 2 nudos, no son del todo incompatibles con los que se obtienen al utilizar la ecuación (11). Futuros estudios podrían dilucidar temas de importancia como la dominancia mareal, la estructura vertical de las corrientes y la duración neta de la marea entrante y la marea saliente.

La poca profundidad, fuertes corrientes y grandes volúmenes de agua salada que trae la marea, es decir los prismas de marea, contribuyen a que exista un alto grado de mezcla en la zona, como se evidencia en los perfiles casi verticales de salinidad que comúnmente se miden en el GNS. La variación relativa de salinidad (i.e la variación vertical sobre la salinidad de superficie), raramente supera el 10% aun en invierno. Este régimen turbulento, con abundante agitación, debido a la marea y a las olas, puede conducir a un alto nivel de oxigenación de las aguas y explicar así, al menos parcialmente, la existencia de zonas de supersaturación de oxígeno que se observan en el GNS en la superficie durante el verano (Epifanio et al, 1983). Esto constituye una ventaja para las población del puerto de Puntarenas, pues le permite gozar de

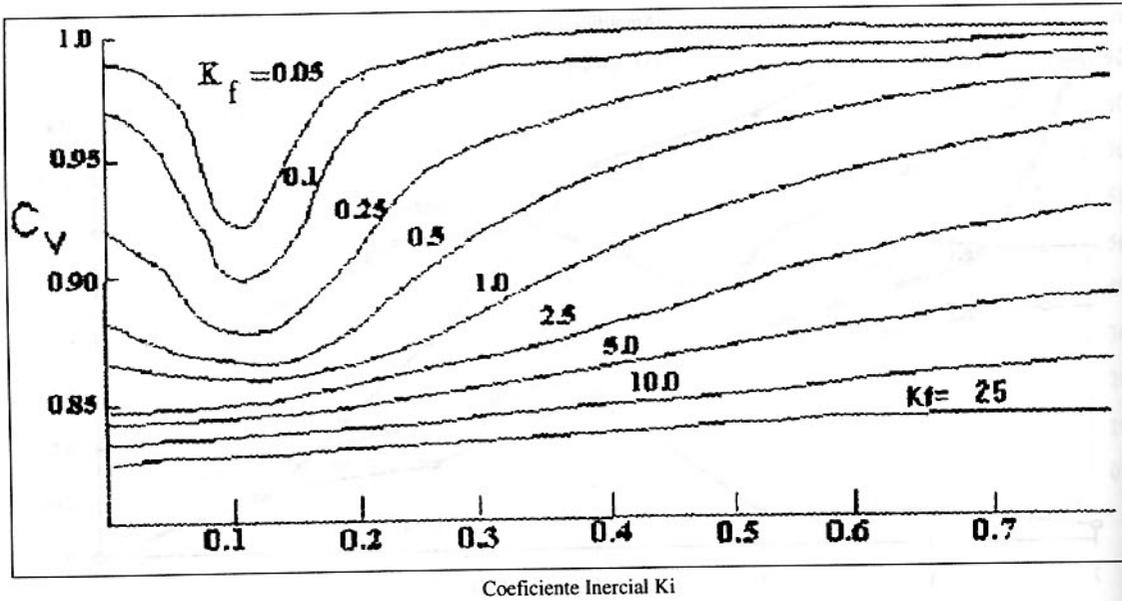


Figura 11. Coeficiente de Velocidad Máxima ( $C_v$ ) en función de los coeficientes  $K_f$  y  $K_i$ .

buenos niveles de oxígeno a pesar de las fuertes descargas de afluente municipal no tratado.

## 8. LOS PRISMAS DE MAREA DEL GOLFO DE NICOYA

Para tener una idea de los volúmenes de agua que se intercambian en el GNS se calcularon los prismas de marea para varias secciones. Los cálculos se muestran en el cuadro No. 1. Para realizarlos se usó una marea de 2.0 m a la entrada del Golfo y un coeficiente de amplificación del 85% neto para todo el Golfo. Esto produce una marea de 2.8 m de amplitud en Puntarenas y una amplificación del 32% en Puerto Moreno con respecto de Puntarenas.

Se puede notar que, en la parte superior del GNS, los prismas son del mismo orden de magnitud que los volúmenes de las secciones en marea baja. Esto da gran capacidad de mezcla y reduce grandemente los tiempos de desagüe o residencia de las sustancias disueltas. Además para una descarga riverina típica del invierno ( $50 \text{ m}^3/\text{s}$ ) el número de mezcla de Kremers produce valores del

$$a = \frac{Q_f T}{P_t} \quad (13)$$

orden de  $10^{-3}$  o menores, es decir, condiciones muy mezcladas, dominadas completamente por las mareas.

## 9. CONCLUSIONES FINALES

La ola de marea del Golfo de Nicoya Superior muestra un comportamiento unidimensional que se puede modelar, con buena aproximación, por la ecuación de momento, sin los términos de fricción, es decir, sin mayores pérdidas de energía.

La marea se amplifica debido a la acumulación del agua cuyo volumen se debe conservar, a su inercia y a la forma del GNS. Los efectos de la fricción del fondo se notan en el extremo norte del GNS, luego de la Isla Chira.

La marea típica de 3 metros (en Puntarenas) se propaga a lo largo del eje del GNS con

Cuadro No. 1

Prismas de la marea para el Golfo de Nicoya  
(Profundidades respecto del Nivel Medio de Bajamares)

Dist. Km	D m	DX m	AREA km <sup>2</sup>	H m	Prisma m <sup>3</sup>	H0 =2 m en Boca AMPLIF= 85.00% Estación	Localidad Aproximada
0	74						
3	66	3000		2.1			Boca del Golfo
5	61	2000	224.82	2.1	4.74E+08	STA 15	Ballena<====>Herradura
7	55	2000		2.1			
9	50	2000		2.2			
11	45	2000		2.2		STA 12	
13	41	2000		2.3			
15	39	2000		2.3			
17	35	2000	203.59	2.4	4.81E+08	STA 10	Negritos Afuera
19	31.5	2000		2.4			
21	31	2000		2.4			
23	30.5	2000		2.5			
25	30	2000		2.5			
27	29	2000		2.6		STA 7	
29	30	2000	169.79	2.6	4.44E+08	STA 7	
31	34	2000		2.7			
33	35	2000		2.7			
35	39	2000		2.7			
37	41	2000		2.8			
39	43	2000	164.14	2.8	4.64E+08	STA 5	Puntarenas
41	37	2000		2.9			
43	31	2000		2.9			
45	29	2000	58.57	3.0	1.73E+08	STA 4	
47	25	2000		3.0			
49	22.5	2000	96.30	3.0	2.93E+08	STA 3	Caballo
51	20.5	2000		3.1			
53	19	2000		3.1			
55	18.5	2000	143.68	3.2	4.55E+08	STA 2	P.Morales
63	10.9728	8000	147.72	3.3	4.93E+08	STA -1	Chira S.
71.5	3.6576	8500	55.27	3.5	1.94E+08	STA -2	Cerro Gordo/Punta de Piedra
80	1.8288	8500	24.15	3.7	8.94E+07	STA -3	Isla Toro/Puerto Moreno

una velocidad de 1.4 km/min hasta la zona de Punta Morales. Para arriba de allí la ola se propaga con una velocidad media de 0.7 km/min hasta Puerto Moreno.

Debido a las pocas profundidades esta ola de marea deberá propagarse más rápidamente cuando su amplitud sea mayor y viceversa.

Las corrientes son típica y directamente proporcionales a la raíz cuadrada de la profundidad, a la amplitud de la marea y a la fracción de área superficial entre área transversal.

Las condiciones del GNS son completamente mezcladas con la descarga de agua dulce, siendo una milésima o menos de los volúmenes de los prismas de marea. Esto debiera producir tiempos de residencia cortos y condiciones de desagüe

favorables para los afluentes municipales localizados al sur de la Isla Chira.

Las altas corrientes, grandes prismas de marea, poca profundidad y abundante actividad productora de oxígeno pueden explicar parcialmente la existencia de zonas de supersaturación de oxígeno, aún con altas temperaturas tropicales y descargas municipales no tratadas.

La propagación de la ola de marea hacia el interior del territorio del Río Tempisque, está dominada por la fricción lo cual debería producir fuertes pérdidas de energía y disminuir paulatinamente su alto contenido energético.

Cualquier obra civil por construirse en el futuro en esta zona debe considerar la gran amplificación que sufre la marea al subir por el GNS y desde

luego, el hecho de que en condiciones extremas, como un maremoto por ejemplo, esta amplificación y el tiempo de recorrido varían con la marea y deberán recalcularse.

## 9. SIMBOLOGIA

- A : Area transversal
- b : Ancho
- C : Coeficiente de fricción de Chèzy
- C0 : Coeficiente del sistema de unidades (1.49 para el sistema de unidades inglés o 1 para el sistema internacional)
- Cph : Velocidad de fase de la onda de marea
- Cv : Coeficiente de velocidad máxima de Keulegan
- D : Profundidad media
- g : Aceleración de la gravedad
- H : Altura de la marea
- H0 : Altura de la marea a la entrada del GNS
- Kf : Coeficiente de fricción de Goodwin
- Ki : Coeficiente de inercia de Goodwin
- n : Coeficiente de rugosidad de Manning
- Pt : Prisma de marea
- Qf : Descarga riverina de agua dulce
- Rh : Radio Hidráulico
- S : Area horizontal
- T : Período de la marea (44,280 segundos)
- V : Velocidad de la corriente
- Vmax: Velocidad máxima de la corriente
- $\pi$  : 3.14 1592654
- a : Coeficiente de mezcla de Kremers

## 10. BIBLIOGRAFIA

1. DMA : Mapa No. 21544 de la Agencia de Mapeo del Departamento de Defensa de los Estados Unidos (Defense Mapping Agency). Actualizado con datos del USS Annibal y USS Fulton hasta el año 1935, 1935.
2. Epifanio C.E., Maurer D., y Dittel A.I. **Seasonal changes in nutrients and dissolved oxygen in the Gulf of Nicoya, a tropical estuary on the Pacific Coast of Central America.** *Hidrobiología* Vol. 101, pp. 231-238. 1983.
3. Keulegan, G.H. **Tidal flow in entrances of basins in communication with seas.** Technical Bulletin 14, U.S. Army Corps of Engineers. 88 p., 1967.
4. Goodwin C. **Physical Parameters which control propagation of tidal waves in estuaries, verified for three significantly different Oregon Estuaries.** Proceedings of the 4-th Annual Technical Conference. March 14-15, 1974. Estuaries of the Pacific Northwest. Oregon State University. Engineering Experiment Station Circular No. 50. Larry Slotta (Ed.). Páginas 37-49, 1974.
5. Murillo, L.M. **Modelling tidal circulation and dispersion in the Gulf of Nicoya, Costa Rica.** MSc. Thesis. Department of Civil Engineering and School of Oceanography, Oregon State University (1982).
6. Murillo, L.M. **La circulación de las Mareas en el Golfo de Nicoya.** *Tecnología en Marcha*. Vol. 10 (4). p. 51-76, 1991.
7. Murillo L.M. **Periodicidades escondidas en las mareas de Puerto Moreno en el Golfo de Nicoya.** *Tecnología en Marcha*. Vol. 12 (3). 1994.
8. Sabersky R.H., Acosta A.J. *Fluid Flow. A first course in Fluid Mechanics.* Macmillan Series in Mechanical Engineering. The Macmillan Company, New York. 1964
9. Shureman, P. *Manual of Harmonic Analysis and Prediction of Tides.* U.S. Department of Commerce. Special Publication No. 98, Washington D.C. 1958