



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

**LA PROPAGACION DE LA ONDA DE MAREA
DENTRO DE LA LAGUNA DE TERMINOS**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO EN GEOFISICA
P R E S E N T A:
JESUS HERNAN FLORES RUIZ**

201
6

Cd. Universitaria, México, D. F.

1979



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E

LA PROPAGACION DE LA ONDA DE MAREA DENTRO DE
LA LAGUNA DE TERMINOS, CAMPECHE.

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

CAPITULO I GENERALIDADES: LIMITES, HIDROGRAFIA

CAPITULO II DESCRIPCION Y CARACTERISTICAS DEL EQUIPO.

2.1.- MAREOGRAFO DE FLOTADOR

2.2.- MAREOGRAFO DE PRESION

CAPITULO III METODO DE TRABAJO

3.1.- INSTALACION DEL EQUIPO EN LA LAGUNA

3.2.- OBTENCION DE DATOS EN LA CAMPAÑA

CAPITULO IV TEORIA APLICADA EN LA DESCRIPCION DE LA PROPAGACION DE LA ONDA DE MAREA.

4.1.- TERMINOLOGIA EMPLEADA

4.2.- DESCRIPCION MATEMATICA DE LA MAREA CONFRICCION.

4.3.- METODO GRAFICO

CAPITULO V COMPARACION DE RESULTADOS

5.1.- METODO GRAFICO

5.2.- METODO TEORICO

CAPITULO VI CONCLUSIONES

APENDICE "A" TABLAS Y GRAFICAS

REFERENCIAS

NOTACION

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

La importancia de este trabajo, se debe a que siendo ésta zona un buen prospecto económico desde el punto de vista petrolífero y pesquero en la bahía de Campeche y teniendo en cuenta que el petróleo y los desechos de las fábricas son uno de los principales contaminantes en el área; Se realizó el estudio para pronosticar el desplazamiento y dispersión de las sustancias contaminantes dentro del ambiente marino (C.C.M. y L. 1977a).

Para estos fines se realizó una campaña en los meses de febrero y marzo de 1977, en la cual se obtuvieron los registros continuos de los siguientes parámetros oceanográficos: corriente, viento y marea.

Cabe hacer hincapié que en este trabajo, está relacionado con la propagación de la onda de marea en el interior de la laguna de Términos, y su comportamiento en ésta.

El objetivo que se persigue es el de formular un modelo que determine:

- Velocidad de propagación de la onda de marea que entra en ambas bocas de la laguna de Términos.
- Determinar el área de encuentro de ambas ondas en el interior de ésta.

Sabemos que la laguna de Términos se comunica al mar abierto mediante dos bocas que se encuentran permanentemente abiertas, por esta causa existe un flujo neto de aguas marinas entrando por una de las bocas y saliendo por la otra, este es un hecho fundamental para el régimen hidrológico de la laguna.

La componente predominante en la laguna de Términos es el -
lunar principal diurna (O_1) que tiene un período de 25.85 -
hrs., En base a este período se utilizaron fórmulas para ha-
cer los cálculos de la velocidad de propagación de la onda-
de marea, que entra por ambas bocas de la laguna.

CAPITULO I

I.1. GENERALIDADES.

La laguna de Términos se encuentra localizada en la parte oeste de la península de Yucatán.

LIMITES:

Al norte con Yucatán, al este con el Estado de Quintana Roo, al sur con Guatemala, al suroeste con Tabasco y al oeste con el golfo de México.

HIDROGRAFIA:

La laguna de Términos se encuentra drenada por tres ríos aún cuando se encuentran ríos y arroyos de menor magnitud en toda la orilla de la laguna. (Fig. 1.1.)

A continuación se describen los ríos de mayor importancia: - río Candelaria, río Palizada, río Chumpán.

Con excepción del río Candelaria cuya cuenca se encuentra localizada dentro de la península de Yucatán, todos los demás ríos vierten sus aguas a la laguna de Términos y pertenecen al sistema fluvial tabasqueño, que drena la planicie costera del golfo de México.

El río Palizada representa el extremo oriental de la complicada red fluvial tabasqueña. Este río desemboca en la laguna, debido a que también fluye en un amplio valle aluvial éste - da lugar a la formación del estuario de boca Chica.

El río Chumpán, se origina en la planicie costera por la - - unión de los ríos San Joaquín y Salsipuedes. Estos ríos tie-

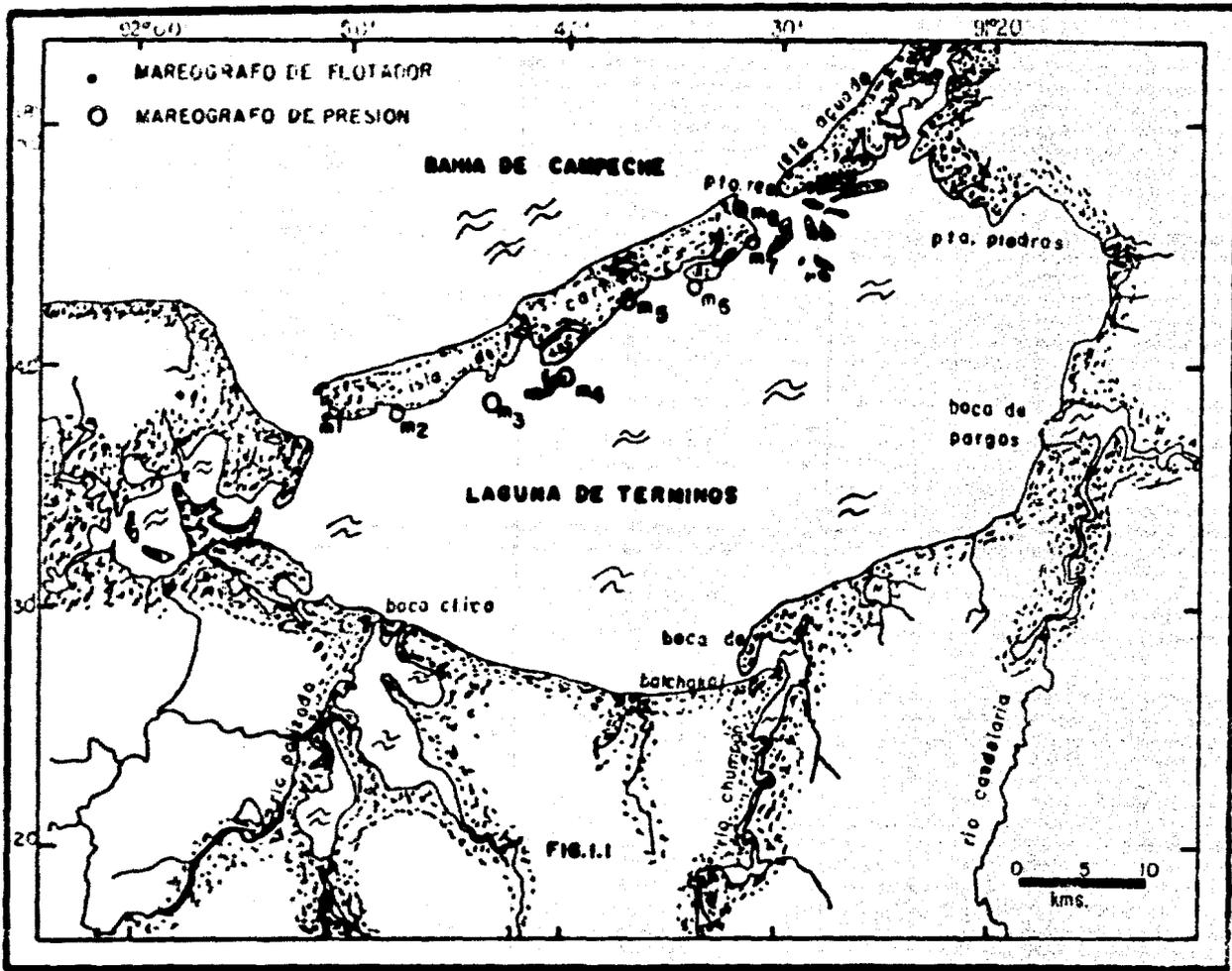
nen un corto recorrido y un reducido caudal; los cuales desembocan en la laguna de Términos y al hacerlo dan lugar a un pequeño estuario en la boca de Balchakaj.

La cuenca de este río cubre un área de 1,874 km², y aproximadamente un volumen de escurrimiento anual de 1,368 millones de m³. (S.R.H. 1977)

El río Candelaria, es otro de los grandes alimentadores de la laguna de Términos y su cuenca se encuentra localizada dentro de la península de Yucatán, el escurrimiento medio anual es aproximadamente de 15,777 millones de m³. (S.R.H., 1976). Es el más importante de los ríos que desembocan en la laguna y proporcionó un gasto promedio de 21.5 m³/s. durante la campaña de febrero - marzo de 1977. (Fig. 1.1.)

La laguna de Términos tiene un clima tropical, cálido-húmedo, con lluvias en verano, siendo el porcentaje de lluvia invernal entre el 5 y 10% de la precipitación anual. La temperatura media anual es de 27°C. La temporada de lluvias se presenta de mayo a octubre. Los vientos dominantes son del sureste, excepto durante el invierno, cuando masas de aire polar continental invaden el golfo de México, ocasionando un desnivel barométrico pronunciado que dá lugar a que el área sea afectada por vientos fuertes del norte y noroeste con rachas violentas que alcanzan intensidad de 50 a 70 nudos. (S.R.H. 1976)

La laguna tiene forma elíptica, con un eje mayor de 70 kilómetros y un eje menor de 25 kilómetros. Su profundidad promedio es de 3.5 m. (Fig. 1.2).



BANIA DE CAMPECHE

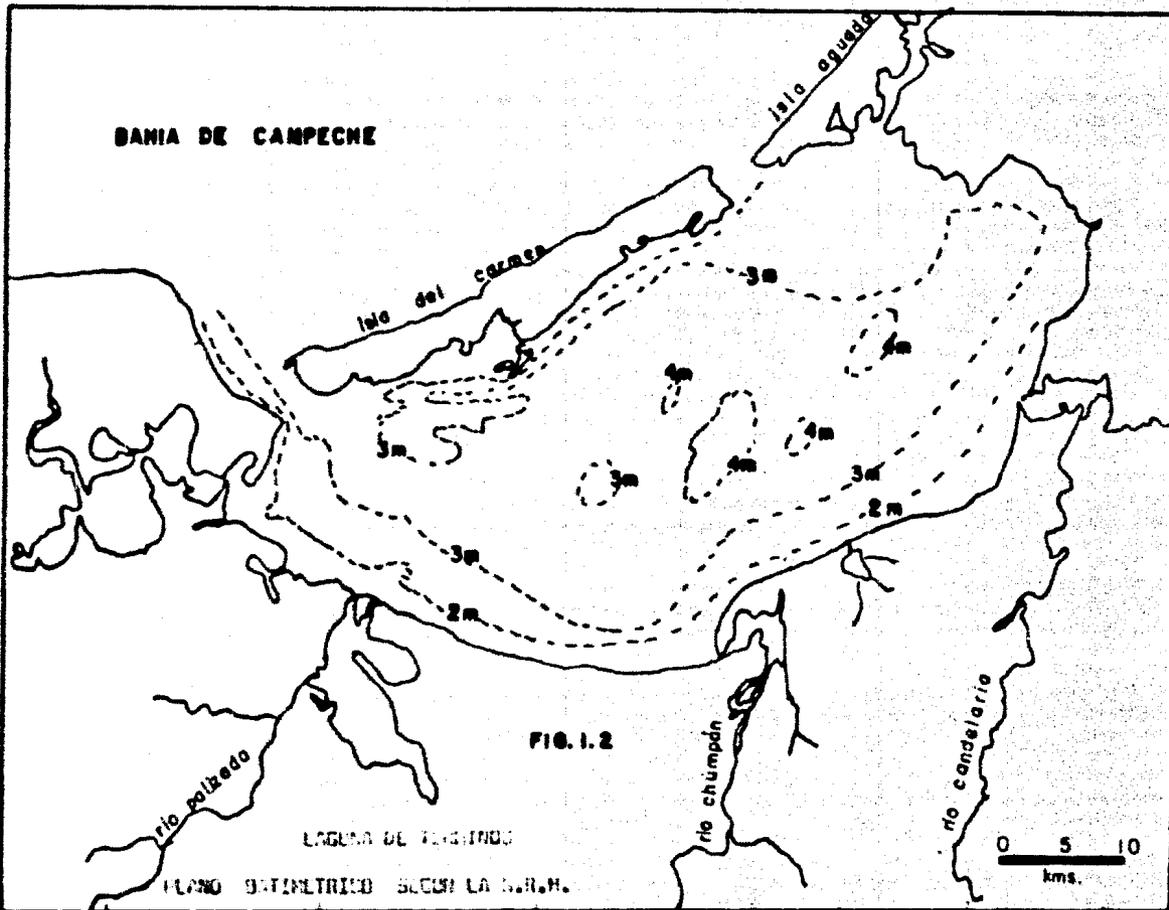


FIG. 1.2

LAGUNA DE TÉRMINOS

PLANO BATIMETRICO SEGUN LA S.R.M.

0 5 10
kms.

CAPITULO II

DESCRIPCION Y CARACTERISTICAS DEL EQUIPO

Para la obtención de los datos de la propagación de la onda de marea se utilizó el siguiente equipo de registro:

1 mareógrafo de flotador

6 mareógrafos de presión

A continuación se describen las partes de que consta el mareógrafo de flotador mediante un esquema y una breve explicación de su funcionamiento. (Fig. 2.1.)

2.1. El mareógrafo de flotador consiste básicamente de un flotador que está conectado con un contrapeso a través de un cable que pasa por una polea, ésta a su vez mueve un cilindro que se encuentra en el interior de la caja registradora, en este cilindro tenemos enrollado el papel de registro del cual se obtienen la gráfica de la variación de la altura del agua con respecto al tiempo transcurrido de observación de la campaña. La gráfica se hace con una plumilla que encuentra sobre el papel de registro (estilote).

El flotador como el contrapeso se introducen en un tubo de plástico que tiene la función de proteger del oleaje al flotador y así de esta manera graficar la variación del nivel del agua con respecto al tiempo. A un lado del tubo de plástico se coloca una regla graduada que sirve para calcular las fluctuaciones del nivel del agua y determinar así en el-

MAREOGRAFO DE FLOTADOR

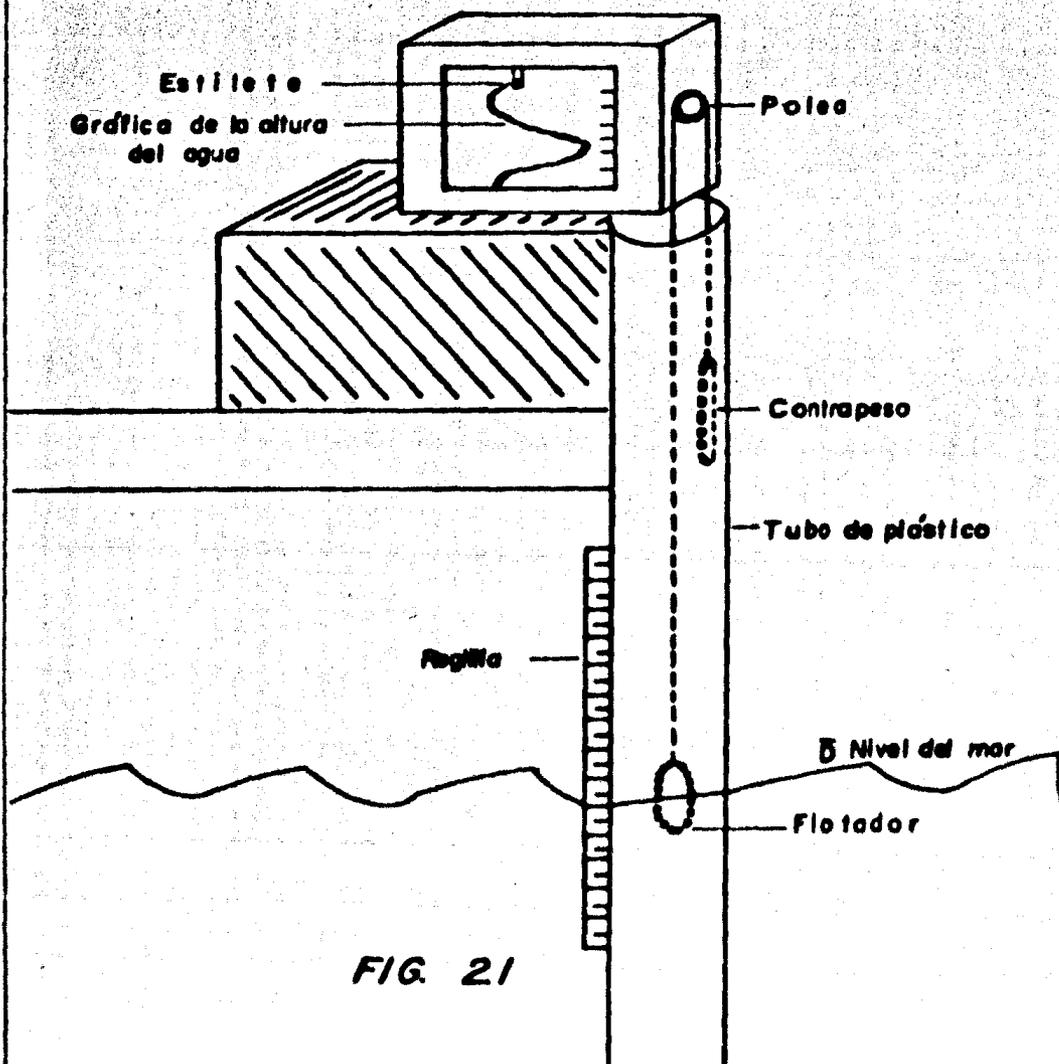


FIG. 21

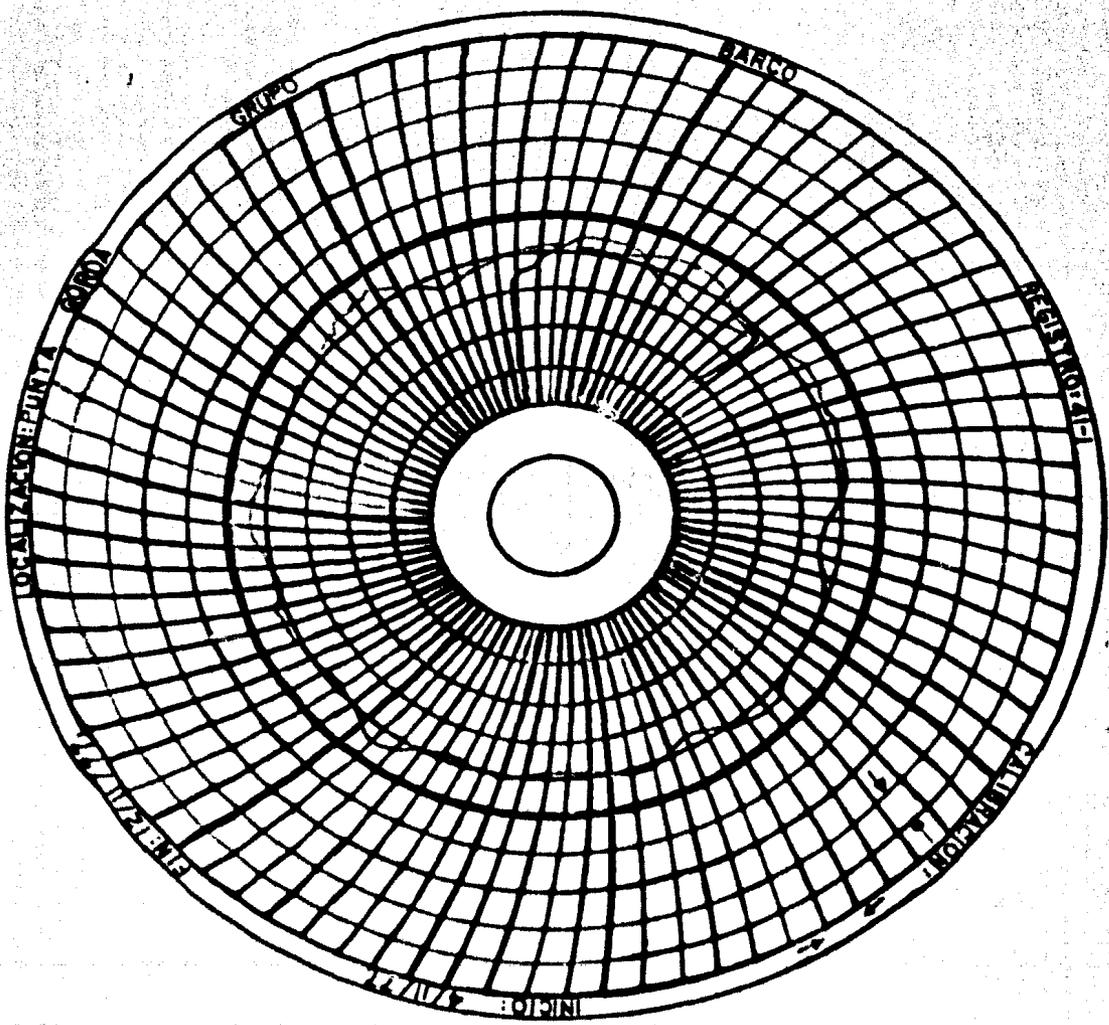


FIG. 2.2

aparato registrador su calibración, es decir, obteniendo una escala adecuada para impedir que la gráfica se salga del papel de registro. (Manual del Mareógrafo de Flotador).

2.2. Descripción del mareógrafo de presión.

Es un instrumento que registra la variación de presión en -- proporción a la columna de agua que está sobre el sensor, ob--
teniendo un registro continuo de la variación de la altura --
del agua en función del tiempo, las gráficas obtenidas mues--
tran círculos concéntricos los cuales nos van a dar la altura --
de la columna de agua, las líneas radiales es el tiempo trans--
currido en la observación. (Fig. 2.2).

Ahora demostraremos que las gráficas obtenidas de los mareó--
grafos de presión están relacionadas con la fórmula - - - --

$h = n + \frac{P}{\rho g}$ (presión en el fondo de la laguna); donde

$n = a \sin(kx - \omega t)$ es el desplazamiento instantáneo verti--
cal de la superficie del agua arriba del nivel medio, y que --
 $\frac{P}{\rho g}$ es la presión hidrostática.

El término n lo supondremos prácticamente nulo para nues--
tro caso. En cambio la presión hidrostática, la tomaremos en --
cuenta para el cálculo que se va a realizar para hacer el mo--
delo teórico. Para esto suponemos un fluido irrotacional e --
incompresible. (ippen 1966)

Ecuación de Bernoulli:

$$\frac{P}{\rho} + gz + \frac{v^2}{2} = \frac{\partial \phi}{\partial t}$$

- P Presión
- ρ Densidad
- g Cte. de gravitación
- ϕ potencial de la ve--
locidad.

Para olas de pequeña amplitud; comparada con la longitud de onda tenemos que: $\frac{v^2}{2} = 0$

$$(2.2a) \quad \frac{p}{\rho} = \frac{\partial \phi}{\partial t} - gz \quad z = \text{profundidad}$$

El potencial de la velocidad para ondas progresivas de pequeña amplitud, en un fluido sin viscosidad tenemos:

$$(2.2b) \quad \phi = \frac{a g \cosh(\gamma + z)}{w \cosh(Kh)} \cos(Kx - wt)$$

K.- No. onda

a.- Amplitud

w.- Frec. angular

Y.- Peso específico

Sustituyendo la ecuación 2.2b en 2.2a obtenemos la siguiente expresión:

$$(2.2c) \quad \frac{p}{\rho} = \frac{a g \cosh(\gamma + z)}{\cosh(Kh)} \sin(Kx - wt) - gz$$

Sabiendo que ; $n = a \sin(Kx - wt)$ nos da la siguiente expresión:

$$p = \frac{n \rho g \cosh K(h+z)}{\cosh(Kh)} - gz; \quad p = \gamma \left[\frac{\cosh K(h+z)-z}{\cosh(Kh)} \right]$$

Donde la cantidad $\frac{\cos h k(h + Z)}{\cos h (kh)}$ que es llamada "Factor

de respuesta de presión K_p " éste es menor que la unidad para todas las profundidades pertenecientes al nivel medio de las aguas, la ecuación queda entonces así:

$$(2.2d) \quad \frac{p}{\gamma} = K_p n - Z$$

para $z=0$ en la superficie:

$$K_p = 1 \quad ; \quad \frac{p}{\gamma} = h$$

para $z = -h$ en el fondo:

$$K_p = \frac{1}{\cos h(kh)} \quad ; \quad \frac{p}{\gamma} = \frac{n}{\cos h(kh)} + h$$

O sea la presión hidrostática en el fondo es $p/\gamma = h + n$ para una onda en la cual la amplitud es negativa, la presión en el fondo es más grande que la hidrostática puesto que:

$$(2.3a) \quad h - \frac{n}{\cos h (K h)} > h - n$$

En el caso en que la amplitud sea positiva (n) tenemos que:

$$(2.3b) \quad h + \frac{n}{\cos (K h)} < h + n$$

y la presión en el fondo es menor que la presión hidrostática.

El resultado de la distribución vertical de presión de los casos anteriores se puede esquematizar a continuación (Fig.- 2.3).

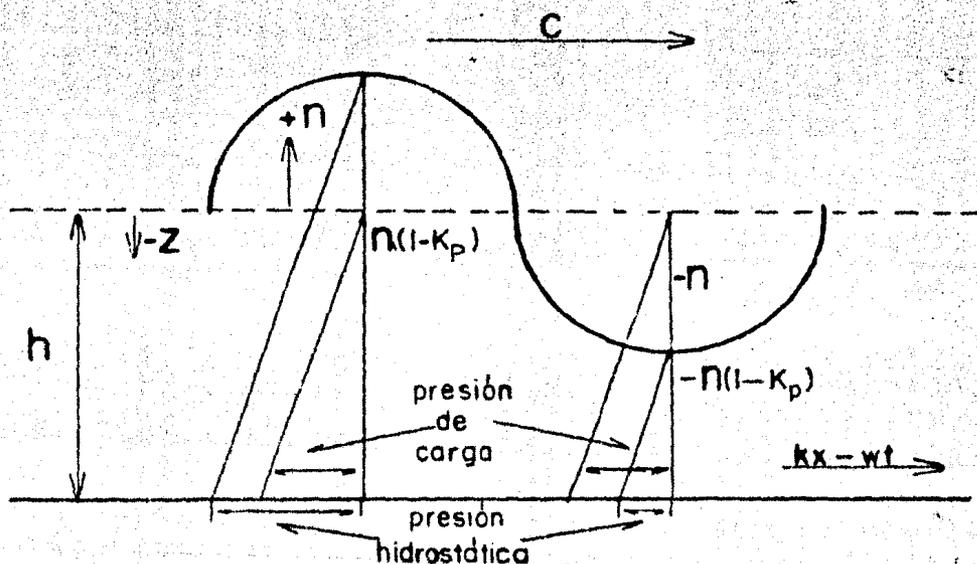


Fig. (2.3) Distribución vertical de presión dentro de una onda.- Por lo tanto con la ecuación 2.2d es la que predice la altura de onda debida a la presión sobre los instrumentos sensitivos, los cuales se encuentran debajo de la superficie del agua. (Fig. 2.4).

De esta manera se registra la variación de presión debido al movimiento de la onda progresiva y se va graficando en función de la altura de la onda que va pasando sobre el instrumento.

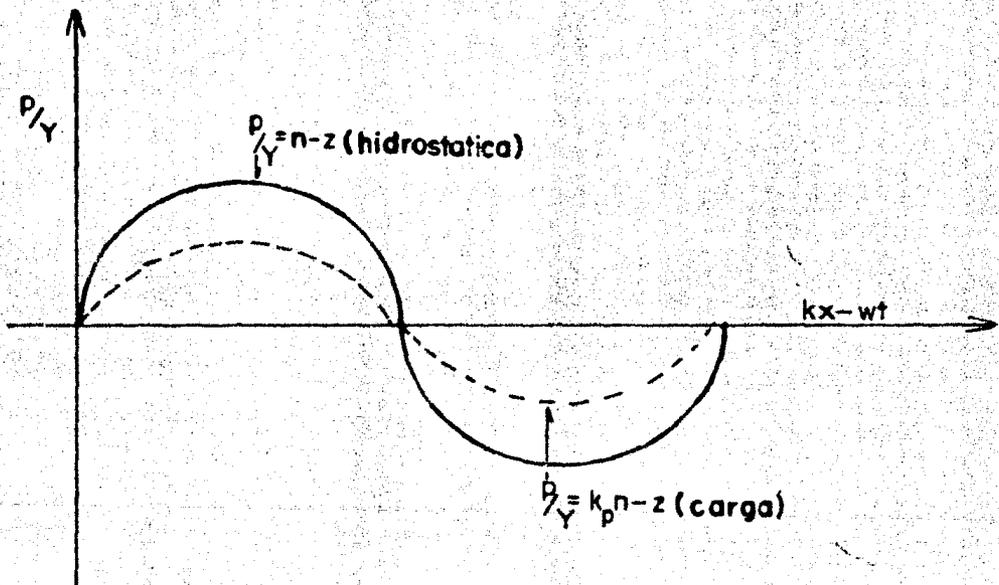


Fig. (2.4) Distribución de la Presión de Carga.

Como podemos darnos cuenta, la teoría expuesta anteriormente sirve para cuantificar ondas de pequeña longitud de onda, -- donde son válidas las fórmulas 2.2d, 2.3a, 2.3b; para analizar nuestro caso utilizaremos las expresiones (2.3a) y -- (2.3b).

Por otro lado sabemos que la longitud de la onda de marea -- del océano que entra por ambas bocas de la laguna es grande, esto implicará que su número de onda sea pequeño debido a --

la relación $K = \frac{2\pi}{L}$ donde $K \approx 0$ luego entonces el $\cosh(Kx) = 1$ de las expresiones 2.3a y 2.3b nos dicen que;

$$h - \frac{n}{\cosh(Kx)} > h - n ; h + \frac{n}{\cosh(Kx)} < h + n$$

No se cumple tales desigualdades ya que:

$$h - n \not> h - n ; h + n \not< h + n \quad (2.3c)$$

Estas nuevas expresiones 2.3c nos demuestran que la presión hidrostática es igual a la presión en el fondo de la laguna y que el error, al asumir tal consideración es prácticamente despreciable; y por lo tanto el efecto hidrostático de la columna de agua sobre el instrumento, estará solamente relacionada con la presión hidrostática.

Esta nos cuantificará la variación del nivel del agua con respecto al tiempo y que el término $n = a \sin(Kx - \omega t)$ es despreciable debido a los cálculos efectuados anteriormente.

CAPITULO III

METODO DE TRABAJO

3.1. Instalación del equipo en la laguna.

Para seleccionar los lugares de emplazamiento del equipo registrador, el Centro de Ciencias del Mar realizó un reconocimiento previo del área durante el mes de abril de 1976 (1a. campaña) y debido a la ocurrencia de la onda de marea en el interior de la laguna se colocaron 7 mareógrafos, de los cuales 6 son mareógrafos de presión y uno de flotador, éstos se instalaron desde la boca de Ciudad del Carmen (M_1) hasta la boca de Puerto Real (M_8) (Fig. 1.1.) El mareógrafo de flotador se instaló en la localidad de Puerto Real, y con el mismo propósito se utilizó el mareógrafo de flotador de la boca de Ciudad del Carmen; este mareógrafo fué instalado por el Departamento de Oceanografía del Instituto de Geofísica de la UNAM, el cual nos proporcionó los registros durante el tiempo que se hizo la campaña.

Los mareógrafos de presión se encuentran instalados en las siguientes localidades dentro de la laguna: Boca San Julián (M_7), Punta Gorda (M_6), Boca Arroyo (M_5), Cayo Carbonera (M_4), Isla Pájaro (M_3), y las Pilas (M_2).

3.2. Datos

Los datos de campo que se obtuvieron con los mareógrafos instalados en las diferentes localidades dentro de la laguna, fueron registros continuos de las diferentes alturas del

agua y cada una de la localidad descrita anteriormente, durante la campaña llevada a cabo.

Para realizar ciertos procesos de análisis y de cálculos se discretizaron los registros obtenidos de los distintos instrumentos registradores, a un intervalo de tiempo de 1 hr. De las gráficas de los mareógrafos de flotador fueron discretizadas directamente, en cambio de las gráficas obtenidas de los mareógrafos de presión (Fig. 2.2), se hicieron correcciones debido a que los registros son circulares y sufren un cambio, tanto en su escala vertical como en la horizontal, por esta razón se corrigen las curvas con factores de proporcionalidad respecto a los datos presentados en los registros de los mareógrafos de flotador; y así de esta manera hacer una uniformización de los datos obtenidos de ambos equipos registradores.

Con este fin se utilizó un interpolador, y fórmulas de corrección para leer los registros de los mareógrafos de presión, en las cuales la diferencia que existe entre dos círculos concéntricos en la gráfica equivalen a 0.40 m. de profundidad real en la laguna, la diferencia entre las líneas radiales es de un intervalo de 2 hrs.; estos registros tienen una duración total de 7 días.

(Manual del Mareógrafo de Presión).

CAPITULO IV

TEORIA APLICADA EN LA DESCRIPCION DE LA PROPAGACION DE LA ONDA DE MAREA.

4.1. Terminología empleada.- El sistema de coordenadas esta definido como se ve en la Figura (4.1); la cual muestra una onda armónica moviéndose en la dirección indicada. La descripción de literales es la siguiente:(Ippen 1966)

h = distancia del nivel medio del agua al fondo.

$n(x, t)$ = desplazamiento instantáneo vertical de la superficie del agua arriba del nivel medio.

a = amplitud de onda

H = altura de la onda = $2a$ para amplitudes pequeñas de onda.

L = longitud de onda.

T = período de onda.

C = velocidad de propagación

K = número de onda. = $2\pi / L$.

ω = frecuencia angular de onda. = $2\pi / T$.

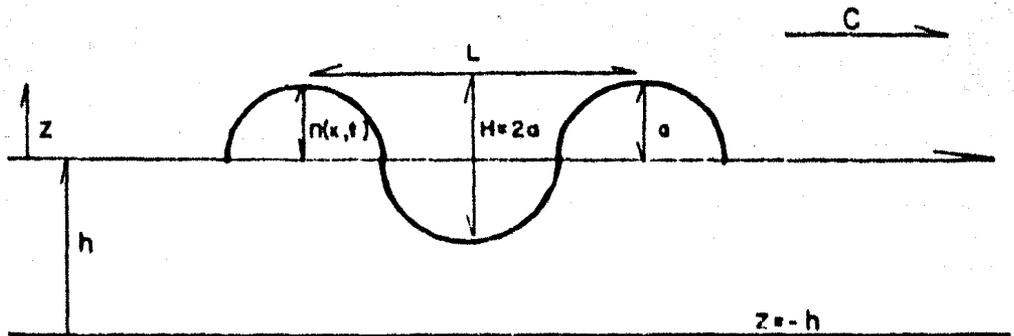


Fig. (4.1)

Los resultados de las observaciones llevadas a cabo durante la campaña en la zona de la laguna y debido a la existencia de las dos bocas, la onda de marea al avanzar al interior de esta, produce una configuración compleja de nodos y encuentros en su interior.

En base a lo expuesto anteriormente se seleccionó un modelo que simula la propagación de la onda de marea, haciendo para esto una serie de restricciones que se enumerarán de acuerdo a los cálculos que se estén realizando para ello. Haciendo las siguientes consideraciones con el propósito de análisis, primeramente realizando la siguiente restricción: se cierra la boca de Ciudad del Carmen y dejando que se propague la onda en el interior de la laguna por la boca del Puerto Real; y posteriormente cerrando la boca del Puerto Real y dejando la boca de Ciudad del Carmen abierta para que penetre la onda de marea, se aplica la siguiente teoría.

4.2. Descripción matemática de la marea con fricción.

La ecuación que rige la marea con fricción en términos de la amplitud es la siguiente:

$$c_0^2 \frac{\partial^2 n}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 n}{\partial t^2} + gM_f \frac{\partial n}{\partial t} \quad (4.1a)$$

donde: $gM_f \frac{\partial n}{\partial t}$ es el término del efecto de resistencia

por unidad de masa. Considerando la amortiguación de la onda de marea entrando a un canal de longitud infinita, tenemos que; la máxima amplitud inicial a_0 , se presenta en $x = 0$ es decir en la parte final del canal y a continua-

ción tenemos entonces la solución de la ecuación (4, 1a) -- que es: (4.1b) $n = a_0 e^{-Mx} \cos(Kx - \omega t)$

donde K_1 es un número de onda, y cambia a K_0 en caso de que el valor de fricción y la sección del canal sean constantes. Considerando un canal cerrado en uno de sus extremos, la onda que entra del océano al canal de amplitud n_1 , considerando su dirección positiva de la boca hacia el extremo cerrado; y la onda de reflexión con amplitud n_2 , moviéndose en dirección negativa, donde las amplitudes n_1 y n_2 , son función de x y t .

El tiempo medido cuando ocurre la altura de agua en $x = 0$; entonces ocurre que $n_1 = n_2 = a_0$. De acuerdo a las consideraciones anteriormente que tenemos:

$$n = n_1 + n_2 = a_0 \left[e^{-Mx} \cos(\omega t - kx) + e^{Mx} \cos(\omega t + kx) \right] \quad (4.2a)$$

El tiempo de la altura del agua en cualquier estación está determinado por:

$$0 = a_0 \omega \left[e^{-Mx} \sin(\omega t - kx) + e^{Mx} \sin(\omega t + kx) \right] = \frac{\partial n}{\partial t}$$

$$0 = a_0 \omega \left[e^{-Mx} (\sin \omega t \cos kx - \cos \omega t \sin kx) + e^{Mx} (\sin \omega t \cos kx + \cos \omega t \sin kx) \right]$$

$$0 = (e^{-Mx} + e^{Mx}) \sin \omega t \cos kx + (e^{-Mx} - e^{Mx}) \cos \omega t \sin kx$$

$$\frac{\text{sen } wt_H}{\text{sen } wt_H} = \frac{(e^{Mx} - e^{-Mx}) \text{ sen } Kx}{(e^{Mx} + e^{-Mx}) \text{ cos } Kx}$$

$$\tan wt_H = -\tan Kx \tanh Mx \quad (4.2b)$$

La ecuación (4.2b) da la altura del agua en cualquier estación o localidad del canal.

Con respecto a la altura del agua en la parte cerrada del canal es decir en $x = 0$, donde $wt_H = 0$; despejando la ecuación (4.2b) obtenemos:

$$wt_H = \tan^{-1}(-\tan Kx \tanh Mx) \quad (4.2c)$$

Sustituyendo la ecuación (4.2c) en (4.2a) llegamos a la expresión:

$$nxH = 2a_0 \sqrt{\frac{1}{2}(\cos 2Kx + \cosh 2Mx)}$$

si $2a_0 = n_0H$

La ecuación queda:

$$N = \frac{nxH}{n_0H} = \sqrt{\frac{1}{2}(\cos 2Kx + \cosh 2Mx)} \quad (4.2d)$$

La ecuación (4.2d) nos relaciona la amplitud de la altura de la onda de marea en cualquier estación (nxH); con la amplitud de la altura de la onda de marea (n_0H) en la parte cerrada del canal en $x = 0$.

$$\begin{aligned} \cos^2 hMx &= \frac{1}{2} \left((N^2 + 1) + \sqrt{(N^2 + 1)^2 - 4N^2 \cos^2 wth} \right) \\ \cos^2 Kx &= \frac{1}{2} \left((N^2 + 1) - \sqrt{(N^2 + 1)^2 - 4N^2 \cos^2 wth} \right) \end{aligned} \quad (4.3)$$

Así que Kx y Mx deben ser determinadas de las ecuaciones anteriores para cualquier localidad donde wth y N son conocidas. (Ippen, 1966).

Por el cálculo de las velocidades; tenemos que:

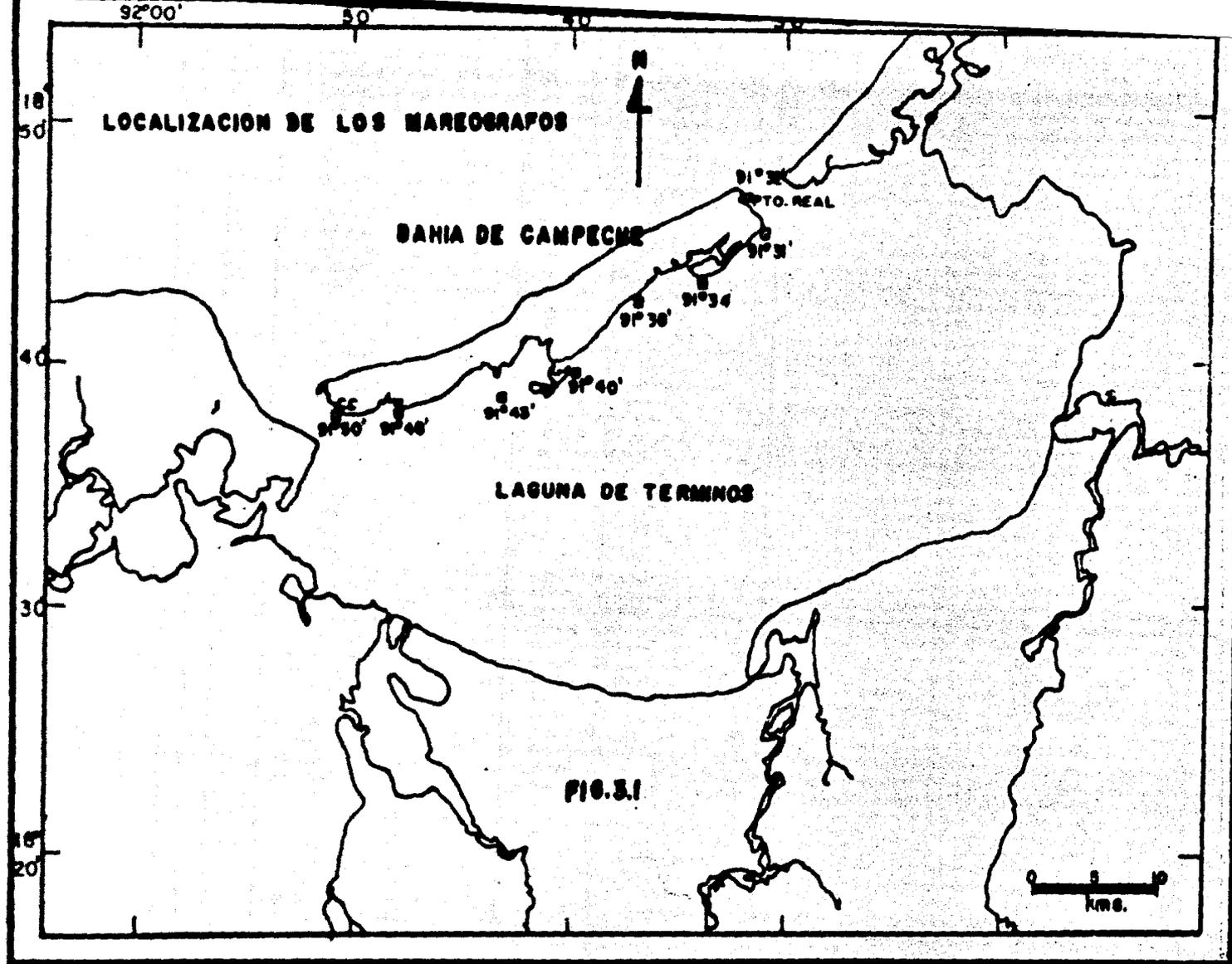
$$U = U_1 + U_2 = \frac{a_0 w}{h} \int_0^x \left[e^{-Mx} \sin(wt - kx) + e^{Mx} \sin(wt + kx) \right] dx \quad (4.4)$$

U-Velocidad.

donde la velocidad total de propagación de la onda de mareas es una superposición de velocidad que son utilizadas en la ecuación (4.4), para ello se tuvo que hacer una localización de los mareógrafos con respecto al Meridiano 90'W. De esta manera se situaron los mareógrafos haciendo una interpolación lineal para asignarle su valor correspondiente a cada localidad dentro de la laguna. (Instituto de Astronomía, - - 1977).

Y así de esta manera utilizar la teoría anterior (fig. 3.1); también se trazó un perfil de la boca de Ciudad del Carmen a través de la mitad de la laguna y terminando hasta la boca donde se encuentra el mareógrafo de Puerto Real.

El perfil tiene una longitud de 60 kms., se utilizó la profundidad promedio de la laguna $h = 3.5$ m.



En base a estas consideraciones se utilizó la teoría matemática descrita al principio del capítulo.

METODO GRAFICO EMPLEADO

4.2 Para observar el comportamiento de la onda de marea dentro de la laguna y del encuentro de las dos ondas de marea que penetran a través de ambas bocas, sabemos que el desplazamiento vertical instantáneo de la superficie del agua, -- arriba del nivel medio de las aguas es función de $\eta(x, t)$ es decir, del tiempo y de la distancia.

Entonces tenemos que :

$$dn = \frac{\partial n}{\partial x} dx + \frac{\partial n}{\partial t} dt$$

Ahora sí:

$$dn=0 = \frac{\partial n}{\partial x} dx + \frac{\partial n}{\partial t} dt$$

Esto implica que la ecuación anterior es una superficie equi-escalar.

De aquí podemos calcular la velocidad de propagación de la -- isolinéa dentro del sistema considerado.

$$\frac{\partial n}{\partial x} dx = - \frac{\partial n}{\partial t} dt \quad \Rightarrow \quad U = \frac{dx}{dt} = - \frac{\frac{\partial n}{\partial x}}{\frac{\partial n}{\partial t}}$$

De aquí tenemos que la pendiente de la isolinéa en un punto cualquiera señala la velocidad instantánea de propagación -- de la onda de marea. (Anales del Instituto de Geofísica, -- 1976).

A la gráfica así obtenida se le llama isopleta y se aplicó el criterio antes mencionado.

Tomando en cuenta los días de máxima amplitud de la onda como son los días 12, 13, 14, 15, 16, 17 y 18 de febrero, donde se escogió un día de conjunción esto ocurrió el día 17 de febrero a las 21:37 hrs.

Se seleccionaron estos días debido a que son los más representativos de la campaña llevada a cabo en la laguna.

Además se obtuvo el nivel medio de referencia de las curvas de marea; estos valores son graficados en la isopleta mediante la fórmula siguiente:

$$\bar{M}_p = \frac{\sum_{i=1}^{N^2} \sum_{j=0}^{23} h_i}{N^2 \times 24}$$

h_i Alturas horarias

N^2 Número de días

\bar{M}_p Nivel medio de referencia de las curvas de mareas.

Con estas gráficas podemos observar la velocidad instantánea de propagación de la onda de marea entrando por ambas bocas y su comportamiento en función de la distancia recorrida y el tiempo empleado en la propagación de la misma.

En el capítulo siguiente se discuten los resultados obtenidos por ambos métodos y sus conclusiones.

CAPITULO V

COMPARACION DE RESULTADOS

5.1. METODO GRAFICO.

Observando la gráfica de la isopleta de los días 12, 13 y 14 de febrero y tomando como día central el día 13, nos daremos cuenta que en el mareógrafo (M_5), la superficie de elevación se encuentra en equilibrio entre 8:42 y 9:18 hrs. y se presenta un mínimo de la superficie de propagación de la onda sobre el mareógrafo M_4 ; entre las 8:30 hrs., y las 10:20 hrs., es casi simultáneo la presencia de éstos dos eventos; y posteriormente se presenta un máximo de la superficie de propagación de la onda sobre el mareógrafo M_3 entre el intervalo de tiempo de las 21:30 hrs., a las 24:12 hrs.

De la misma manera con las gráficas de la isopleta de los días 16, 17 y 18 de febrero y tomando como día central el 17, notamos que se presenta primeramente el máximo de la superficie de propagación entre el intervalo de tiempo comprendido entre las 6:00 y las 9:18 hrs., el mareógrafo M_3 y posteriormente se presenta un estado de equilibrio de la superficie de propagación de la onda de marea, entre el intervalo de tiempo de las 12:42 hrs. a las 14:30 hrs., sobre el mareógrafo M_5 ; también podemos darnos cuenta que a menor pendiente que tenga la isofínea menor es la velocidad de propagación de la onda de marea, y a mayor pendiente la velocidad-

de propagación será mayor. (ver pág. 33 a 34; Apéndice A).

5.2. METODO TEORICO.

Si se toma en cuenta que la constituyente armónica más importante de la marea, es la lunar principal diurna (O_1), -- que tiene una $H = 0.120$ mts. (Instituto Geofísica, 1977). Siendo la frecuencia angular de ésta, constituyente de -- 13.94 O/hr , a la que le corresponde la frecuencia 0.03873 $-c/hr$, que coincide con la frecuencia diez que es de 0.039 $-c/hr$. calculada por el análisis espectral. (Tesis-Profesional 1978).

En la hoja 35 se encuentra el cálculo para obtener el tiempo de la altura del agua en cada uno de los mareógrafos instalados dentro de la laguna.

Esta hoja corresponde al cálculo del día 13 de febrero como se puede observar en esta hoja, el tiempo de la altura del agua en ambas bocas de la laguna, es casi simultánea la entrada de las dos ondas de marea; Entrando primeramente por la boca de Ciudad del Carmen y posteriormente por la de San Julián, además vemos que el encuentro de ambas ondas de marea se localiza entre los mareógrafos M_3 y M_4 , que corresponde a la isla Pájaro y a la isla Carbonera, en la hoja 36 se realiza el mismo cálculo que en la hoja anterior, pero es para el día 17 de febrero, aquí notamos que la onda de marea entra primero por la boca de San Julián y luego por la de Ciudad del Carmen.

Y el encuentro de ambas ondas se localizan entre los mareógrafos M_3 y M_4 , que corresponden a las localidades antes --

mencionadas, estos resultados son valederos para las dos hojas descritas anteriormente.

En las hojas 37, 38, 39 y 40 . Se ha calculado la fase de la altura del agua (WTH), que se obtiene a partir de -- multiplicar el tiempo de la altura del agua por la frecuencia angular de la onda $W = 14.0/hr.$, también se obtuvo el cambio de fase (Kx) y el parámetro de amortiguamiento (Mx), a partir de la ecuación (4.3); La distancia (x) se toma -- desde cada una de las bocas respectivamente.

En las hojas 41 y 42 ; se hace el desarrollo de la fórmula para obtener la expresión final para el cálculo de la velocidad de propagación de la onda.

En las hojas 43, 44, 45 y 46 se realizan los cálculos numéricos para obtener la velocidad de propagación de la onda de marea que esta entrando por ambas bocas de la laguna, para los días 13 y 17 de febrero.

Finalmente en la hoja 47 se muestra el registro de l mareó grafo de presión de la figura (2.2), discretizado a intervalos de tiempo de una hora, éste registro es de la localidad de Punta Gorda.

NOTA: Las tablas y cálculos realizado por éste método, se encuentran en el Apéndice "A".

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

De lo expuesto en el capítulo anterior podemos darnos cuenta respecto al método gráfico que el área de encuentro de -- ambas ondas que se propagan en el interior de la laguna, -- queda determinada entre la zona donde se localizan el mareógrafo M_5 y el mareógrafo M_3 .

En esta zona se localiza el área de perturbación; ya que -- aquí ocurre el encuentro de las dos ondas de marea en la laguna, de tal manera que sobre el mareógrafo M_5 en las dos isopletas, la superficie de elevación se encuentra en equilibrio. Esto implica que el encuentro de ambas ondas que se propagan en el interior de la laguna al efectuar la suma de sus amplitudes se cancelan, es decir que su superficie de elevación es igual a cero.

En la isopleta del día 13 de febrero se localiza la zona de equilibrio alrededor de las 9:00 hrs., y posteriormente en la isopleta del día 17 se localiza aproximadamente entre -- las 13:00 y 14:00 hrs.

Sobre el mareógrafo M_3 localizamos la superficie de elevación que es máxima en ambas gráficas; en la isopleta del -- día 17 se presenta alrededor de las 6:00 a las 9:18 hrs.; y en la del día 13 alrededor de las 22:00 hrs., a las 24:12 -- hrs.

En la gráfica del día 13 localizamos un mínimo en la superficie de elevación, esto se manifiesta sobre el mareógrafo-

M_4 ; y en la gráfica del día 17 no se manifiesta este evento; esto hace suponer que el área de encuentro de las ondas que se propagan en el interior de la laguna, se van a localizar dentro del rango comprendido entre los mareógrafos M_5 y M_3 .

De tal manera que los máximos, los mínimos y donde la superficie de elevación está en equilibrio, se localiza entre los mareógrafos M_5 y M_3 .

Ahora bien, de las gráficas de las isopletas calcularemos la velocidad de propagación de la onda de la marea que esta entrando por ambas bocas de la laguna, veremos que para la localidad M_7 la velocidad de propagación es más veloz en ambas gráficas con respecto a M_1 , desde un punto de vista cualitativo, ya que sabemos que a mayor pendiente que tenga la isolínea, mayor será su velocidad de propagación y a menor pendiente menor velocidad, como podemos ver las isolíneas de la localidad de M_1 , tienen una pendiente casi nula como puede verse en la gráfica del día 17, en cambio para M_7 la pendiente es mayor que en la anterior localidad, para el día 13 la pendiente de la isolínea en M_7 es mayor que en M_1 .

Ahora, el cálculo de la velocidad de propagación de la onda en la localidad de M_1 la $V_1 = 1.5$ m/seg., en M_7 su $V_7 = 5.5$ m/seg.; respecto al día 13 de febrero a las 22:00 hrs., para el día 17 de febrero la $V_1 = 0.33$ m/seg., para M_1 y en la localidad M_7 su $V_7 = 0.37$ m/seg., a la primera hora.

Con esto concluimos que la velocidad de propagación de la onda de marea que entra por la localidad donde se encuentra instalado el mareógrafo M_7 que es más veloz que en la localidad M_1 en ambas gráficas, desde un punto de vista cuantitativo -

también resultó más veloz la velocidad de propagación de la onda de marea en la localidad de M_7 que en M_1 .

Respecto al método teórico empleado para calcular la velocidad de propagación, para el día 13 a las 22:00 hrs., en M_1 su $V_1 = 2.1$ m/seg., y en M_7 su $V_7 = 4.2$ m/seg.

En el día 17 su $V_1 = 1.7$ m/seg., y su $V_7 = 5.4$ m/seg., a la primera hora.

De aquí concluimos que también el cálculo teórico de la velocidad fue más veloz en la localidad del mareógrafo M_7 que en M_1 . Ahora comparando las velocidades de ambos métodos - respectivamente, una a una para las distintas localidades, - nos damos cuenta que en los cálculos teóricos las velocidades para el día 13 en M_1 el cálculo teórico fué mayor, ya que la velocidad en la gráfica de la isopleta fué de un 71% respecto de la velocidad teórica calculada, en el M_7 el cálculo teórico es de 76% de la velocidad de la isopleta, este caso es opuesto al anterior, en cambio para el día 17 las velocidades teóricas fueron mayores en ambas localidades -- (M_1 y M_7) que las velocidades en las isopletas, en M_1 la velocidad fué de 19% y en M_7 6% de la velocidad teórica calculada.

Estas discrepancias en ambos métodos es debido a que estamos suponiendo desde un punto de vista teórico que estamos cerrando cada una de las bocas y dejando que se propague la onda al interior de la laguna y viceversa; también estamos suponiendo que es un canal rectangular, con sección transversal constante y que tiene su frontera definida, no existiendo así flujo a través de sus paredes, y también va a ha

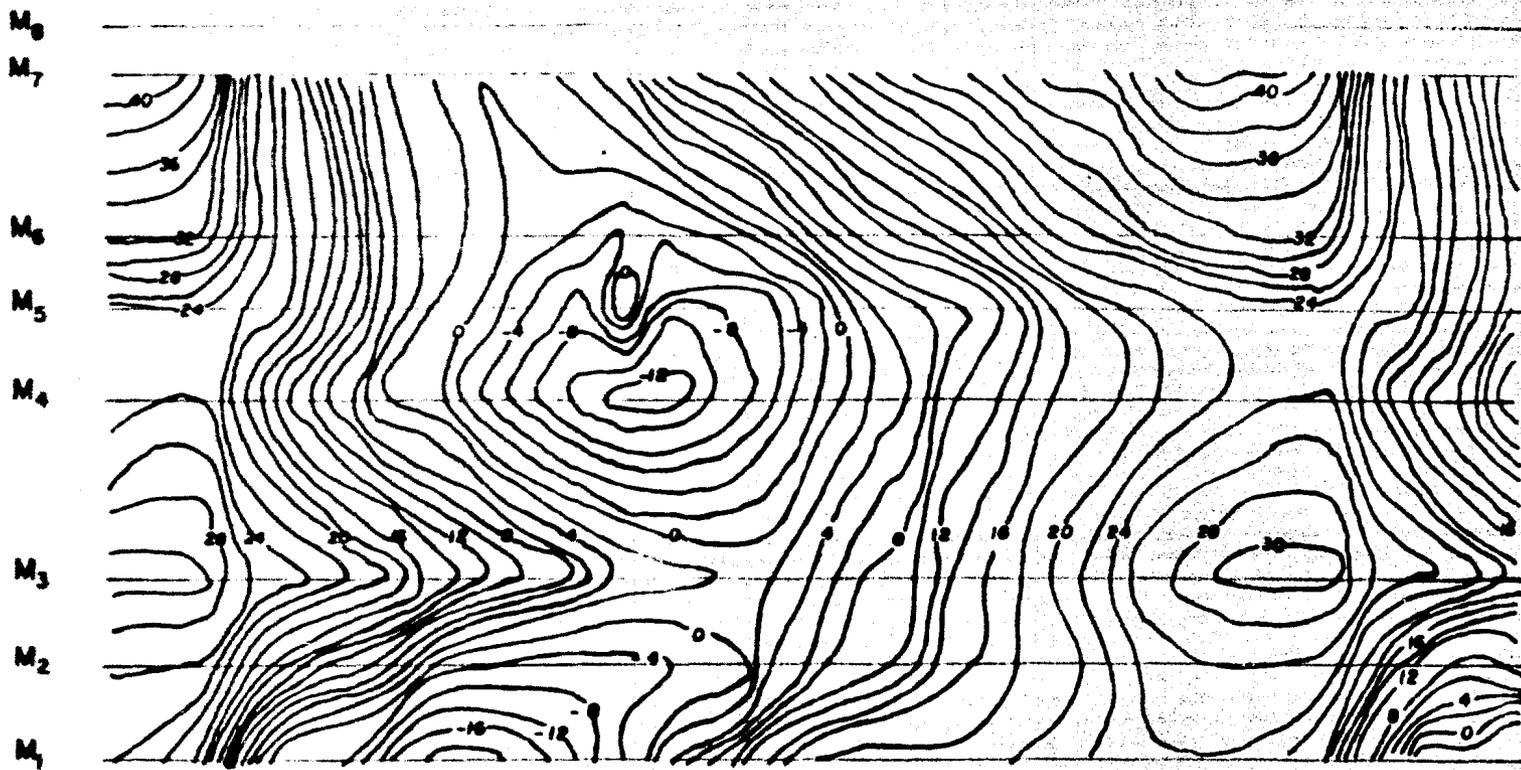
ber una reflexión total debido a su frontera antes mencionada, con estas suposiciones se realizó los cálculos de las velocidades de entrada de la onda de marea en ambas bocas, también hay que aclarar que estamos tomando como profundidad -- promedio de 3.5 m.

Cabe hacer hincapié que la laguna tiene una forma aproximadamente elíptica y que existe un flujo de agua a través de sus fronteras, ya que al entrar la onda de marea por ambas bocas hay una acumulación del agua en el interior de la laguna e invade las zonas aledañas; por otra parte debido a los manglares alrededor de la laguna existe una amortiguación, absorción y difracción de las ondas de marea, por esta razón no hay una reflexión tal como se plantea en el método teórico empleado para el cálculo de las velocidades, esta es la razón de que existan algunas diferencias en ambos métodos.

" APENDICE A "

TABLAS Y GRAFICAS

22 23 24 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 1 2 3 4

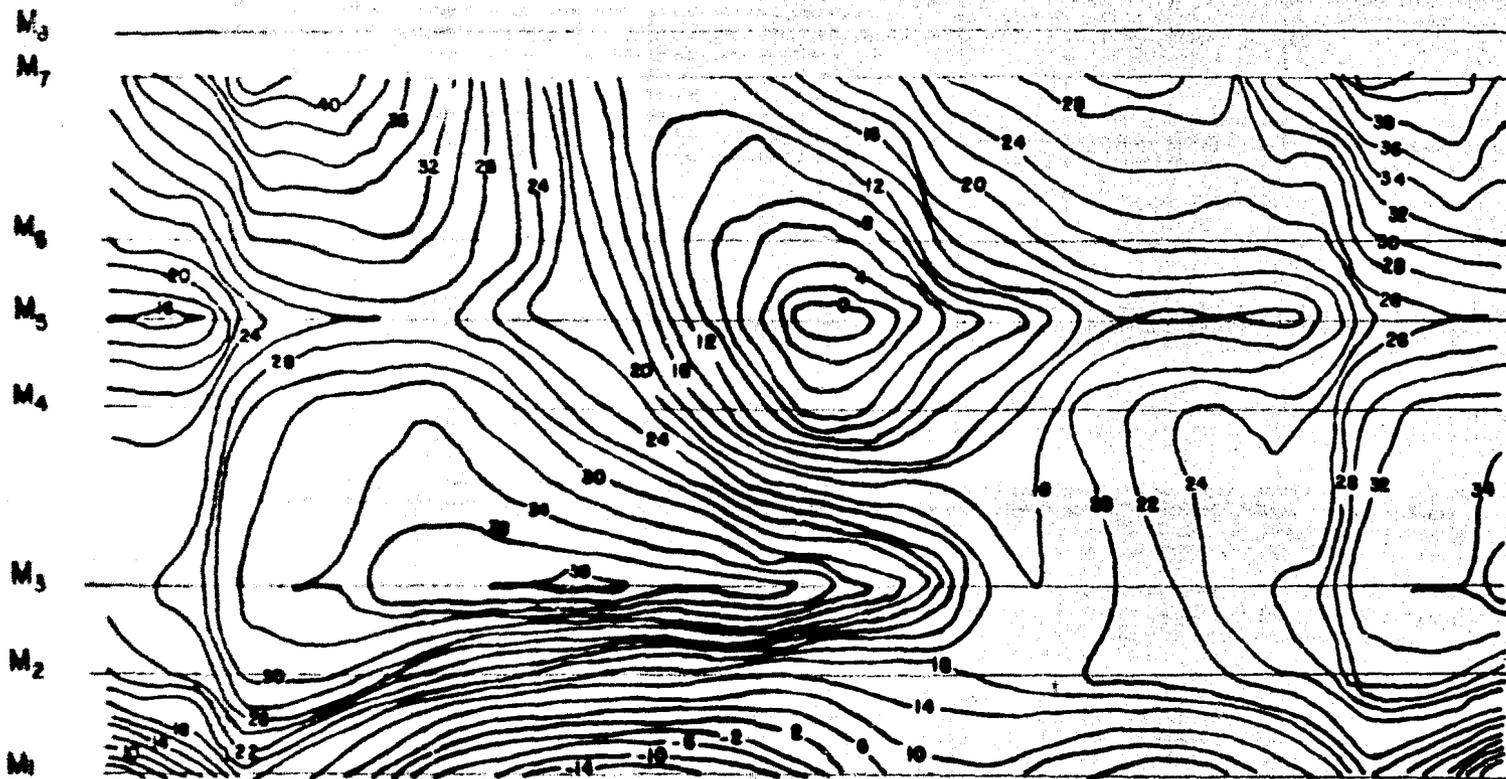


Escala Vertical 1:400 000

Escala Horizontal 1:1 Hrs.

isopleta Febrero días 12-13-14

22 23 24 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 1 2 3 4



Escala Vertical 1:400 000

Escala Horizontal 1:1 Hra

d h m

Conjunción 17 21 37

Isopleta Febrero días 16-17-18

CALCULO PARA OBTENER (TH) ES EL TIEMPO DE LA ALTIMA DEL AGUA DEL DIA 13 DE
FEBRERO DE 1977.

<u>MAROGRAFOS</u>	<u>DIA</u>	<u>MERIDIANO LOCAL</u>	<u>CAMBIO A MINUTOS</u>
Puerto Real (M8)	13	91° 32' 40"	91° 32.61-90° = 1° 32.6' = 1.54°
B. San Julián (M7)	13	91° 31' 20"	91° 31.3'-90° = 1° 32.3' = 1.52°
Punta Gorda (M6)	13	91° 34' 30"	91° 34.5'-90° = 1° 34.5' = 1.57°
R. Arroyo (M5)	13	91° 38'	91° 38' -90° = 1° 38' = 1.63°
I. Carbonera (M4)	13	91° 40'	91° 40' -90° = 1° 40' = 1.60°
I. Pájaros (M3)	13	91° 43'	91° 43' -90° = 1° 43' = 1.71°
Las Pilas (M2)	13	91° 48'	91° 48' -90° = 1° 48' = 1.80°
Ciudad del Carmen (M1)	13	91° 50'	91° 50' -90° = 1° 50' = 1.85°

24 hrs. - - - - - 360° x = 0.102 hrs. 1h ----- 60 min.

x hrs. - - - - - 1.54° 0.102h-x

	Hrs.	Min.	Pasa por meridiano de lugar	Tiempo M. Local (luna)	N (hrs)	(Altura del agua)
M8	0.102	6.12	8 4.69 min.	8 10.81 min. (AM)		
M7	0.101	6.06	8 4.69 min.	8 10.75 min. (AM)	- 22	00 min.
M6	0.104	6.24	8 4.69 min.	8 10.93 min. (AM)	22	00 min.
M5	0.108	6.48	8 4.69 min.	8 11.17 min. (AM)	23	00 min.
M4	0.110	6.60	8 4.69 min.	8 11.29 min. (AM)	24	00 min.
M3	0.114	6.84	8 4.69 min.	8 11.53 min. (AM)	24	00 min.
M2	0.120	7.20	8 4.69 min.	8 11.89 min. (AM)	22	00 min.
M1	0.122	7.32	8 4.69 min.	8 12.01 min. (AM)	22	00 min.

" Adelanto de la marea"

Tiempo de Altura del agua. pasa 1° la luna y después se levanta N.M.A.

	th (local - N (hr))	TH (hrs.)
M8	- 13 89.25 min. =	14.4875
M7	- 13 89.07 min.	14.4845
M6	- 14 88.83 min.	15.4805
M5	- 15 88.71 min.	16.4785
M4	- 15 88.47 min.	16.4745
M3	- 13 88.11 min.	14.4685
M2	- 13 87.99 min.	14.4665

(1) Aquí podemos ver en los TH'S que la onda entra primero por la boca de C. del Carmen y entra casi simultáneamente; y ocurre un encuentro entre los mareógrafos M3 y luego M4.

**CALCULO PARA OBTENER EL TIEMPO DE ALTURA DE AGUA (TH) DEL DIA 17 DE
FEBRERO DE 1977.**

<u>MAREOGRAFOS</u>	<u>DIA</u>	<u>MINUTOS</u>	<u>PASO DEL MERIDIANO DE LUGAR</u>	<u>TIEMPO MERIDIANO LOCAL (LUNA)</u>
Puerto Real	(M8)	17 6.12	11 46.17 min.	11 58.29 min.
B. San Julián	(M7)	17 6.06	11 46.17 min.	11 52.23 min.
Punta Gorda	(M6)	17 6.24	11 46.17 min.	11 52.41 min.
B. Arroyo	(M5)	17 6.48	11 46.17 min.	11 52.65 min.
I. Carbonera	(M4)	17 6.60	11 46.17 min.	11 52.77 min.
I. Pájaros	(M3)	17 6.84	11 46.17 min.	11 53.01 min.
Las Pilas	(M2)	17 7.20	11 46.17 min.	11 53.37 min.
Ciudad del Carmen	(M1)	17 7.32	11 46.17 min.	11 53.49 min.

	<u>N (hrs)</u>	<u>(Altura de marea)</u>	<u>Th (local-N(hrs))</u>	<u>Tiempo de altura del agua TH(hrs)</u>
M8	1	00 min.	10 52.29 min.	10.8715
M7	1	00 min.	10 52.23 min.	10.8705
M6	1	00 min.	10 52.41 min.	10.8735
M5	1	00 min.	10 52.65 min.	10.8775
M4	1	00 min.	10 52.77 min.	10.8795
M3	1	00 min.	10 53.01 min.	10.8835
M2	1	00 min.	10 53.37 min.	10.8895
M1	1	00 min.	10 53.49 min.	10.8915

NOTA: Aquí podemos ver en TH que la onda entra primero por B. San Julián y entran casi simultáneamente ambas ondas, su encuentro ocurre entre los mareógrafos M3 y M4.

PLANILLA DE CALCULO PARA EL DIA 13 DE FEBRERO DE 1977.

ONDA ENTRANDO POR PUERTO REAL

ESTACION	MAREOGRAFO		DIA	N (hrs)	TH(hrs)	FASE DE LA ALTURA DEL AGUA w TH	
Puerto Real	M8		13				
B. San Julián	M7	7.36	13	22	00 min.	-14.4875	- 202.625°
Punta Gorda	M6	3.82	13	22	00 min.	-14.4845	- 202.783°
B. Arroyo	M5	4.24	13	22	00 min.	-15.4805	- 216.727°
I. Carbonera	M4	4.20	13	22	00 min.	-16.4785	- 230.699°
I. Pájaros	M3	3.58	13	22	00 min.	-16.4745	- 230.643°
Las Pilas	M2	4.52	13	22	00 min.	-14.4685	- 202.559°
Ciudad del Carmen	M1	3.7	13	22	00 min.	-14.4665	- 202.531°

$w = 14 \text{ } ^\circ/\text{hr.}$

ESTACION	$N = \frac{n_H}{n_0 H}$	CAMBIO (KX) DE FASE	$K_x(\text{RAD})$	PARAMETRO (M_x)	AMORT $M_x(\text{RAD})$	x DISTANCIA (Km.)
M7	1.00	38.52°	0.67	0.58°	10×10^{-2}	13.2
M6	0.74	50.25°	0.87	0.36°	0.6×10^{-2}	6.0
M5	0.56	65.10°	1.13	0.36°	0.6×10^{-2}	7.2
M4	0.59	58.27°	1.01	0.26°	0.4×10^{-2}	14.4
M3	0.70	67.48°	1.17	0.55°	0.9×10^{-2}	7.2
M2	0.58	58.77°	1.02	0.25°	0.4×10^{-2}	8.4
M1	0.6	0.°	0.	0.°	0	0.

$V_7 = 4.29 \text{ m/seg.}$

Ver (p.p. 52 ; apéndice "A" para nomenclatura empleada en estas planillas).

PLANILLA DE CALCULO PARA EL DIA 13 DE FERRERO DE 1977.
ONDA ENTRANDO POR CIUDAD DEL CARMEN.

ESTACION	MAREOGRAFO	2NλN	DIA	N(hrs)	TH(hrs)	FASE DE LA ALTURA DEL AGUA w TH
Ciudad del Carmen	M1	3.7	13	22	-14.4665	-202.531°
Las Pilas	M2	4.52	13	22	-14.4685	-202.519°
I. Pájaros	M3	3.58	13	24	-16.4745	-230.643°
I. Carbonera	M4	4.20	13	24	-16.4785	-230.699°
B. Arroyo	M5	4.24	13	23	-15.4805	-216.727°
Punta Gorda	M6	3.82	13	22	-14.4845	-202.783°
B. San Julián	M7	7.36	13	22	-14.4875	-202.825°
Puerto Real	--	----	---	---	-----	-----

ESTACION	$N = \frac{2N\lambda N}{\text{noH}}$	CAMBIO DE FASE (K _x)	K _x (RAD)	PARAMETRO AMORT. (M _x)	M _x (RAD)	X DISTANCIA (km)
M1	0.60	57.67°	1.00	0.54°	9.4×10^{-3}	8.4
M2	0.58	58.77°	1.02	0.25°	4.3×10^{-3}	7.2
M3	0.70	67.48°	1.17	0.57°	9.5×10^{-3}	14.4
M4	0.59	58.27°	1.01	0.26°	4.5×10^{-3}	7.2
M5	0.56	65.10°	1.13	0.36°	6.2×10^{-3}	6.0
M6	0.74	50.25°	0.87	0.36°	6.2×10^{-3}	13.2
M7	1.00	38.52°	0.67	0.58°	10.1×10^{-3}	----
M8	----	-----	----	----	-----	----

Vcc = 2.14 m/seg.

PLANILLA DE CALCULO PARA EL DIA 17 DE FEBRERO DE 1977
ONDA ENTRANDO POR PUERTO REAL.

ESTACION	MAREOGRAFO		2NwH	DIA	N(hrs)	WH(hrs.)	FASE ALTURA DEL AGUA wH
Puerto Real	M8	-----	----	---	-----	-----	-----
B. San Julián	M7	7.16	0.86	17	1	10.8715	152.201°
Punta Gorda	M6	3.68	0.64	17	1	10.8705	152.187°
B. Arroyo	M5	4.14	0.50	17	1	10.8735	152.229°
I. Carbonera	M4	4.22	0.64	17	1	10.8775	152.285°
I. Pájaros	M3	3.68	0.84	17	1	10.8795	152.313°
Las Piles	M2	4.48	0.57	17	1	10.8835	152.369°
Ciudad del Carmen	M1	3.40	0.34	17	1	10.8915	152.481°

$$w = 14 \text{ } ^\circ/\text{hr.}$$

ESTACION	N	CAMBIO DE FASE (Kx)	Kx(RAD)	PARAMETRO AMORT. (Mx)	Mx(RAD)	X DISTANCIA (km)
M8	---	-----	-----	-----	-----	-----
M7	1.00	43.07°	0.75	0.85°	1.4×10^{-2}	3.6
M6	0.74	53.06°	0.92	0.41°	0.7×10^{-2}	6.0
M5	0.59	60.15°	1.04	0.31°	0.5×10^{-2}	7.2
M4	0.74	53.01°	0.92	0.41°	0.7×10^{-2}	14.4
M3	0.97	58.74°	1.02	0.40°	0.6×10^{-2}	7.2
M2	0.66	56.69°	0.98	0.35°	$0. \times 10^{-2}$	8.4
M1	---	0	0	0	0	0

$$V_7 = 5.44 \text{ m/seg.}$$

ONDAS ENTRANDO POR LA BOCA DE CIUDAD DEL CARMEN

ESTACION	MAREOGRAFO	2N x H	DIA	N(Hrs)	TH(Hrs)	FASE DE LA ALTURA DEL AGUA vth	
Ciudad del Carmen	M1	3.4°	0.34	17	1	10.8915	152.491°
Las Piles	M2	4.48°	0.57	17	1	10.8835	152.369°
Pájaros	M3	3.36°	0.84	17	1	10.8795	152.313°
I. Carbonera	M4	4.82°	0.64	17	1	10.8775	152.289°
B. Arroyo	M5	4.14°	0.50	17	1	10.8735	152.229°
Punta Gorda	M6	3.68°	0.64	17	1	10.8705	152.187°
B. San Julián	M7	7.16°	0.86	17	1	10.8715	152.210°
Puerto Real	M8		----	--	-	-----	-----

ESTACION	N	CAMBIO DE FASE (Kx)	Kx(RAD)	PARAMETRO DE AMORT. (Mx)	Mx(RAD)	X DISTANCIA (km)
M1	0.39	70.14°	1.22	0.19°	0.3×10^{-2}	8.4
M2	0.66	56.69°	0.98	0.35°	0.6×10^{-2}	7.2
M3	0.97	58.74°	1.02	0.40°	0.6×10^{-2}	14.4
M4	0.74	53.01°	0.92	0.41°	0.7×10^{-2}	7.2
M5	0.59	60.15°	1.04	0.31°	0.5×10^{-2}	6.0
M6	0.74	53.00°	0.92	0.41°	0.7×10^{-2}	13.2
M7	1.	43.07°	0.75	0.85°	1.4×10^{-2}	3.6
M8	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Vcc = 1.71 m/seg.

CALCULO DE LA VELOCIDAD

$$U = \frac{\rho_0 H w}{2h} \int_0^x \left[e^{Mx} \operatorname{sen}(wt - kx) + e^{Mx} \operatorname{sen}(wt + kx) \right] dx$$

$$U = \frac{\rho_0 H w}{2h} \int_0^x \left[e^{-Mx} (\operatorname{sen} wt \cos kx - \cos wt \operatorname{sen} kx) + e^{Mx} (\operatorname{sen} wt \cos kx + \cos wt \operatorname{sen} kx) \right] dx$$

$$U = \frac{\rho_0 H w}{2h} \int_0^x \left[\operatorname{sen} wt \cos kx (e^{-Mx} + e^{Mx}) dx + \cos wt \operatorname{sen} kx (-e^{-Mx} + e^{Mx}) dx \right]$$

$$\int_0^x e^{-Mx} \cos kx dx = \frac{e^{-Mx}}{M^2 + k^2} (-M \cos kx + k \operatorname{sen} kx)$$

$$\int_0^x e^{Mx} \cos kx dx = \frac{e^{Mx}}{M^2 + k^2} (M \cos kx + k \operatorname{sen} kx)$$

$$\int_0^x e^{Mx} \operatorname{sen} kx dx = \frac{e^{Mx}}{M^2 + k^2} (M \operatorname{sen} kx - k \cos kx)$$

$$U = \frac{\rho_0 H w}{2h} \left[\operatorname{sen} wt \left[\frac{e^{-Mx}}{M^2 + k^2} (-M \cos kx + k \operatorname{sen} kx) + \frac{e^{Mx}}{M^2 + k^2} (M \operatorname{sen} kx + k \cos kx) \right] \right]$$

$$\cos wt \left[\frac{e^{-Mx}}{M^2 + k^2} (\operatorname{sen} kx + k \cos kx) + \frac{e^{Mx}}{M^2 + k^2} (M \operatorname{sen} kx - k \cos kx) \right]$$

$$U = \frac{\rho_0 H \omega}{h(M^2 + K)} \left[(m \sin \omega t - k \cos \omega t) (\cos kx \sinh hx) + (k \sin \omega t + m \cos \omega t) (\sin kx \cosh hx) \right]$$

VELOCIDAD DE LA PROPAGACION DE LA ONDA DE MAREA QUE ESTA EN
 TRANDO POR LA BOCA DE CIUDAD DEL CARMEN, DEL DIA 13 DE FE--
 BRERO DE 1977.

$$U = \frac{\rho_0 H W}{\rho (M^2 k^2)} \left[(M \operatorname{sen} w t_H - k \operatorname{cos} w t_H) (\operatorname{cos} k x \operatorname{sen} h M x) \right. \\ \left. + (k \operatorname{sen} w t_H + M \operatorname{cos} w t_H) (\operatorname{cosh} M x \operatorname{sen} k x) \right]$$

$$W = 149 \text{ hr}$$

$$w t_H = -202.531^\circ$$

$$kx = 57.67^\circ$$

$$Mx = 0.5347^\circ$$

$$\rho_0 H = 3.08 \text{ mts.}$$

$$x = 56400 \text{ mts.}$$

$$h = 3.5 \text{ mts.}$$

$$U = \frac{3.08(14)}{3.5(1.04 \pi 10^6)} \left[\begin{array}{l} \left[9.54 \times 10^6 (0.3831) - 1.02 \times 10^3 (-0.9236) \right] (0.5347)(0.5645) \\ + \left[1.2 \times 10^3 (0.3831) + 9.54 \times 10^6 (-0.9236) \right] (0.8449)(1.1483) \end{array} \right]$$

$$U = 1.18 \times 10^7 [2.85 \times 10^4 + 3.70 \times 10^4]$$

$$U = 7.735 \times 10^3 \text{ mts./hr}$$

$$U = 2.14 \text{ [mts./seg]}$$

VELOCIDAD DE LA PROPAGACION DE LA ONDA DE MAREA QUE ESTA -
 ENTRANDO POR LA BOCA DE SAN JULIAN, DEL DIA 13 DE FEBRERO-
 DE 1977.

$$w = 14^\circ/\text{hr} \quad w_{1H} = -202.551^\circ \quad kx = 38.52^\circ \quad Mx = 1.02 \times 10^{-8}$$

$$n_0H = 308 \text{ mts.} \quad x = 56400 \text{ mts} \quad h = 3.5 \text{ mts.}$$

$$U = \frac{3.68(14)}{3.9(4.16 \times 10^{-7})} \left[\begin{aligned} & [1.02 \times 10^3 (0.3879) - 6.82 \times 10^4 (-0.9216)] (0.7823)(0.6130) \\ & + [6.82 \times 10^4 (0.3879) - 1.02 \times 10^3 (-0.9216)] (0.6227)(1.1729) \end{aligned} \right]$$

$$U = 3.16 \times 10^7 [3.03 \times 10^{-4} + 1.86 \times 10^{-4}]$$

$$U_{B.J} = 4.29 \text{ (m/s)} \text{ } \left. \vphantom{U} \right\}$$

VELOCIDAD DE LA PROPAGACION DE LA ONDA DE MAREA QUE ESTA -
 ENTRANDO POR LA BOCA DE CIUDAD DEL CARMEN, DEL DIA 17 DE -
 FEBRERO DE 1977.

$$W = 14^\circ/\text{hr}$$

$$wIH = 152.481^\circ$$

$$kx = 70.14^\circ$$

$$Mx = 0.19^\circ$$

$$neH = 4.35 \text{ mts.}$$

$$x = 56\,400 \text{ mts}$$

$$h = 3.5 \text{ mts.}$$

$$U = \frac{4.35(14)}{3.5(1.54 \times 10^{-6})} \left[\left[3.36 \times 10^8 (0.4620) - 1.24 \times 10^3 (0.8866) \right] (0.3397)(0.1911) \right. \\ \left. + \left[1.24 \times 10^3 (0.4620) + 3.36 \times 10^8 (-0.8866) \right] (0.9405)(1.0181) \right]$$

$$U = 1.12 \times 10^7 \left[7.14 \times 10^8 + 5.45 \times 10^{-4} \right]$$

$$U_{c.d} = 1.71 \text{ [m/seg]}$$

VELOCIDAD DE LA PROPAGACION DE LA ONDA DE MAREA QUE ESTA -
ENTRANDO POR LA BOCA DE SAN JULIAN, DEL DIA 17 DE FEBRERO-
DE 1977.

$$w = 14^\circ/\text{hr}$$

$$wIH = 152.201^\circ$$

$$kx = 43.07^\circ$$

$$-MX = 0.85^\circ$$

$$NoH = 3.58 \text{ ms.}$$

$$x = 56400 \text{ mts}$$

$$h = 2.5 \text{ mts.}$$

$$U = \frac{3.58(14)}{3.5(583 \times 10)} \left[\left[1.5 \times 10^8 (0.4663) - 7.63 \times 10^4 (0.8845) \right] (0.7305)(0.9561) \right. \\ \left. + \left[7.63 \times 10^4 (0.4663) + 1.5 \times 10^8 (-0.8845) \right] (0.6828)(1.3835) \right]$$

$$U = 2.45 \times 10^7 [4.77 \times 10^{-4} + 3.23 \times 10^{-4}]$$

$$U_{BJ} = 5.44 \text{ (m/seg.)}$$

Mes	Febrero							Mes
Día	4	5	6	7	8	9	10	Día
Hora	Mts.	Mts.	Mts.	Mts.	Mts.	Mts.	Mts.	Hora
0		1.68	1.68	1.60	1.60	1.65	1.72	0
1		1.68	1.68	1.60	1.60	1.62	1.66	1
2		1.68	1.68	1.60	1.59	1.58	1.60	2
3		1.70	1.68	1.60	1.59	1.57	1.58	3
4		1.70	1.69	1.62	1.56	1.56	1.55	4
5		1.71	1.69	1.68	1.56	1.54	1.55	5
6		1.71	1.69	1.70	1.56	1.55	1.55	6
7		1.68	1.69	1.74	1.60	1.60	1.55	7
8		1.67	1.68	1.73	1.62	1.63	1.58	8
9		1.62	1.63	1.73	1.62	1.65	1.58	9
10		1.60	1.56	1.70	1.62	1.68	1.60	10
11		1.54	1.53	1.63	1.60	1.68	1.60	11
12		1.53	1.44	1.60	1.60	1.66	1.62	12
13		1.52	1.44	1.54	1.54	1.63	1.62	13
14		1.52	1.44	1.50	1.51	1.60	1.62	14
15	1.43	1.54	1.45	1.48	1.51	1.58	1.62	15
16	1.49	1.54	1.46	1.48	1.56	1.56	1.62	16
17	1.58	1.58	1.52	1.50	1.59	1.58	1.63	17
18	1.60	1.62	1.58	1.57	1.62	1.60	1.66	18
19	1.67	1.64	1.60	1.63	1.71	1.68	1.68	19
20	1.67	1.64	1.62	1.64	1.74	1.72	1.74	20
21	1.68	1.70	1.62	1.64	1.74	1.72	1.75	21
22	1.68	1.70	1.62	1.64	1.74	1.72	1.75	22
23	1.68	1.69	1.62	1.62	1.74	1.72	1.74	23

REGISTRO DE PUNTA GORDA AÑO 1977

LOCALIDAD: LAGUNA DE TERMINOS, CAMPECHE.

ALTURAS HORARIAS.

REFERENCIAS

- 1.- Arthur T. Ippen P.H.D. Estuary And Coastline Hydrodynamics.
Copyright 1966 by Mc. Graw - Hill, Inc.
- 2.- C.C.M.y L. 1977a. Del Programa del proyecto: - investigaciones sobre el Régimen Hidrológico de la laguna de Términos y áreas adyacentes, presentado al CONACYT por la Sección de Oceanografía Física del Centro de - - Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. México, 1977. no publicado.
- 3.- Instituto de Astronomía 1977, Anuario del Observatorio Astronómico Nacional - - U.N.A.M.
- 4.- Instituto de Geofísica 1977. Tablas de Predicción de mareas para 1977. Para -- puertos del Golfo de México y mar Caribe, apéndice I, -- parte A, de los Anales del - Instituto de Geofísica - - - U.N.A.M. Vol. 22, 1977.
- 5.- Manual del Mareógrafo de flotador.

- 6.- Modelo Benthos 282. Manual del Mareógrafo de Presión.
- 7.- Mario Vargas Flores 1978. Las corrientes y el transporte neto de agua en la laguna de Términos. Camp. Tesis Profesional de Ingeniería Geofísica de la F.I. de la U.N.A.M.
- 8.- Raúl Ocampo y Ingvar Emilsson Anales del Instituto de Geofísica . Vol. 20/1974. México 1976.
- 9.- S.R.H. 1976 Estudios de la calidad del agua en la laguna de Términos, Campeche. Sub-secretaría de Planeación de la Secretaría de Recursos Hidráulicos, México.
- 10.- S.R.H. 1977 Resumen de aforos de la Dirección de Hidrología. Secretaría de Recursos Hidráulicos. Meses de febrero - Marzo de 1977, México. No publicados.

NOTACION EN EL CAPITULO III

- P** Presión
- ρ** Densidad
- g** Cte. gravitacional
- z** Distancia vertical con el origen en la superficie
- ϕ** Velocidad potencial
- U** Velocidad en la dirección x (variando con el tiempo)
- k** Número de onda $2\pi/\lambda$
- L** Longitud de onda (local)
- a** Amplitud de la onda medida a partir de la superficie media de elevación del M.S.L.
- M.S.L.** Nivel medio del mar, dato geodésico
- n** Desplazamiento vertical de la superficie del agua medida a partir de la superficie de elevación en $z=0$.
- Y** Peso específico
- C** L/T Velocidad de propagación de la onda, período de onda.

EN EL CAPITULO IV

- z Distancia vertical, con el origen en la superficie
 x Distancia horizontal en dirección de la propagación de la onda.
 h Distancia del nivel medio de las aguas al fondo
 $n(x, t)$ Desplazamiento instantáneo vertical de la superficie del agua, arriba del nivel medio de las aguas.
 a Amplitud de onda
 H Altura dada = $2a$. para amplitudes de onda pequeña
 L Longitud de onda
 T Período de la onda
 C Velocidad de propagación
 k Número de onda $2\pi/L$.
 w Frecuencia angular de la onda $2\pi/T$
 N_f Coeficiente lineal de fricción
 N Viscosidad dinámica
 a_0 Amplitud inicial
 a_{max} Máxima amplitud de las ondas incidentes y reflejadas en la entrada de la laguna.
 a_0H La máxima amplitud de las ondas incidentes y reflejadas en la parte cerrada de la laguna.
 h_j Alturas horarias

- N^2 Número de días de la campaña
- \bar{M}_D El nivel de referencia de las curvas demarea para toda (D)
- D Días que dura la campaña

Nomenclatura empleada en éste apéndice

- $2N \times H$ Rango medio de marea
- $N \times H$ Razón de la amplitud de la marea
- t_H Tiempo de la altura del agua
- $w t_H$ Fase de la altura del agua
- w Frecuencia angular de la onda de propagación
- K_x Cambio de fase
- M_x Parámetro de amortiguamiento
- x Distancia
- U Velocidad de variación de la marea
- $n \times H$ Máxima elevación local de la amplitud de la marea
- $n_0 H$ Amplitud de la marea cuando $x = 0$
- h Profundidad media