

CHAPTER 38

ANALISIS HIDRAULICO DEL COMPORTAMIENTO DE LA ONDA DE MAREA A TRAVES DE LA BAHIA DE TOPOLOBAMPO Y SUS EFECTOS EN LA BARRA

Hector Lopez Gutierrez y Jose Aguilar Alcerreca
Secretaria De Marina
Mexico

1.- INTRODUCCION.- El puerto de Topolobampo se encuentra localizado al Noroeste del estado de Sinaloa, sobre el -- Golfo de California. Su importancia como puerto tiende a incrementar notablemente por dos factores:

- El Ferrocarril Chihuahua-Pacífico que liga la costa Noroeste de la República Mexicana con la zona Norte de la misma y varios estados del Sur de los Estados Unidos.
- El notable desarrollo agrícola de las tierras irrigadas

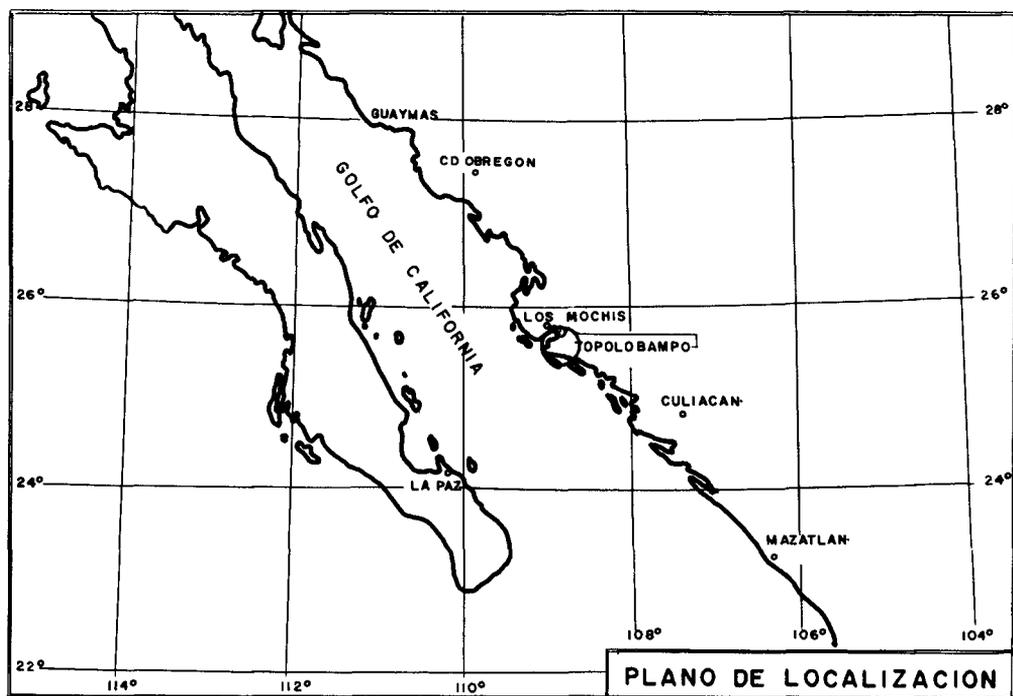


Fig. 1

ANALISIS HIDRAULICO DEL COMPORTAMIENTO DE
LA ONDA DE MAREA A TRAVES DE LA BAHIA DE
TOPOLOBAMPO Y SUS EFECTOS EN LA BARRA

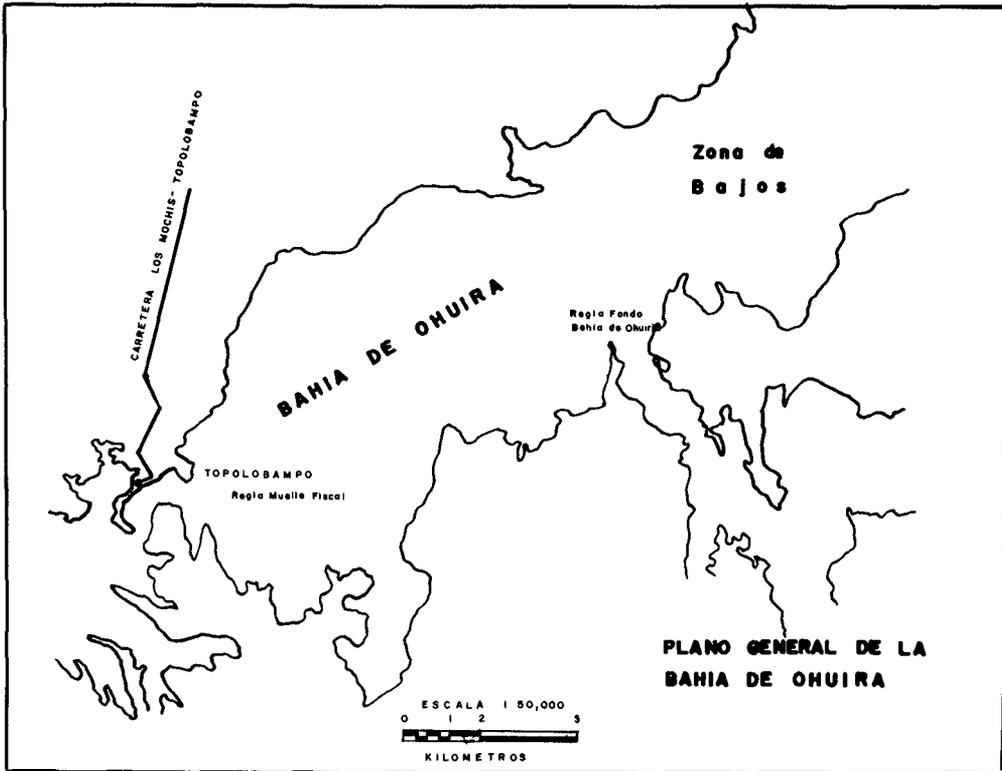


Fig. 3

Al fondo de la Bahía de Topolobampo se tiene un pa
so estrecho que comunica con la Bahía de Ohuira que tiene
una área de 147.998 Km^2 . Esta bahía es relativamente poco
profunda, pero dada su extensión el prisma de marea movido
en cada ciclo es de una importancia considerable.

El Puerto de Topolobampo presenta características_
inmejorables en cuanto a profundidad y protección, pero --
tiene el problema de acceso a él, ya que debido al efecto
de las corrientes de marea y el acarreo litoral se forma -
una barra que disminuye en forma considerable la profundi-
dad.

COASTAL ENGINEERING

El objetivo de este trabajo es presentar una posi¹/₂ble solución a este problema, señalando que, para proponer la, hubieron de hacerse varias suposiciones, debido, fundamentalmente, a la carencia de datos de campo. Esta observación se hace a fin de que en el juicio que se haga del presente comunicado se tome en cuenta este factor.

2.- DATOS.-- Es conveniente mencionar los datos de que se disponían para atacar el problema.

- a).- Aerofotografía de la Bahía de Ohuira a escala -- 1:20,000.
- b).- Plano general batimétrico topográfico de la Bahía de Topolobampo excluyendo los esteros secundarios inclusive el de Lechuguillas.
- c).- Observaciones de mareas en 4 puntos, durante los días 14 y 15 de marzo de 1961.
- d).- Medición de vectores velocidad en puntos cercanos a los de observación de mareas en las mismas fechas.
- e).- Mareogramas de 5 años (1955-1961) obtenidos del mareógrafo instalado en el Muelle Fiscal.

3.- ESTUDIO DE LA SOLUCION.

Para la aplicación de las observaciones de marea - efectuadas el 14 y 15 de marzo de 1961 hubo necesidad de determinar primero el nivel medio del mar, a fin de poder referir a él los ceros de las reglas de marea, ya que dichas

ANALISIS HIDRAULICO DEL COMPORTAMIENTO DE LA ONDA DE MAREA A TRAVES DE LA BAHIA DE TOPOLOBAMPO Y SUS EFECTOS EN LA BARRA

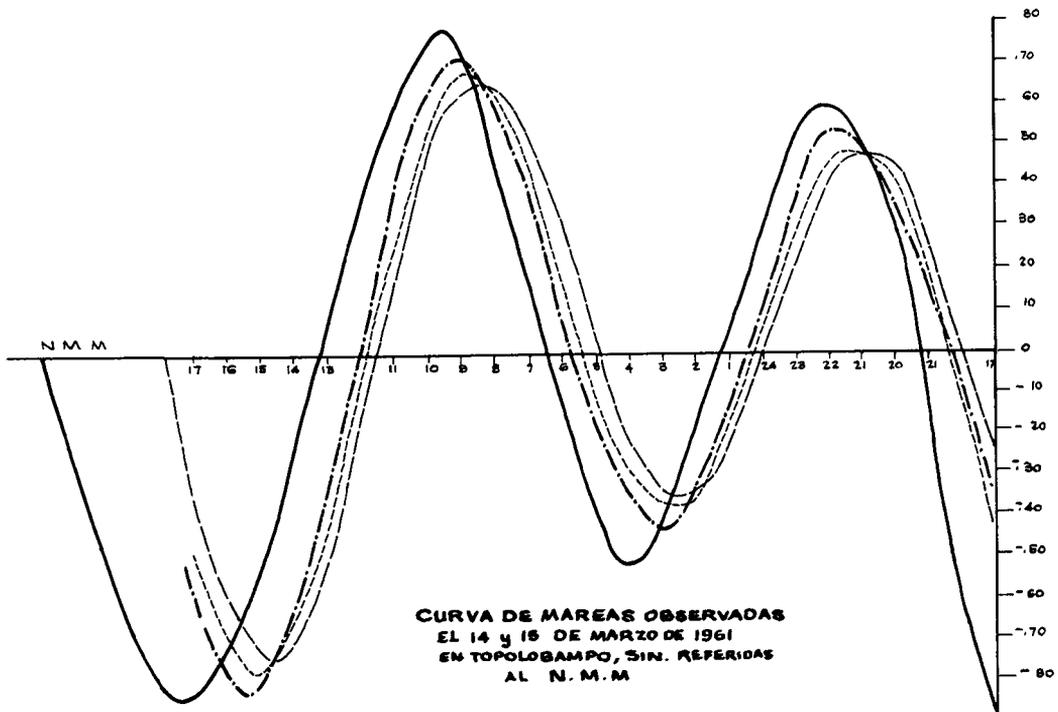


Fig. 4

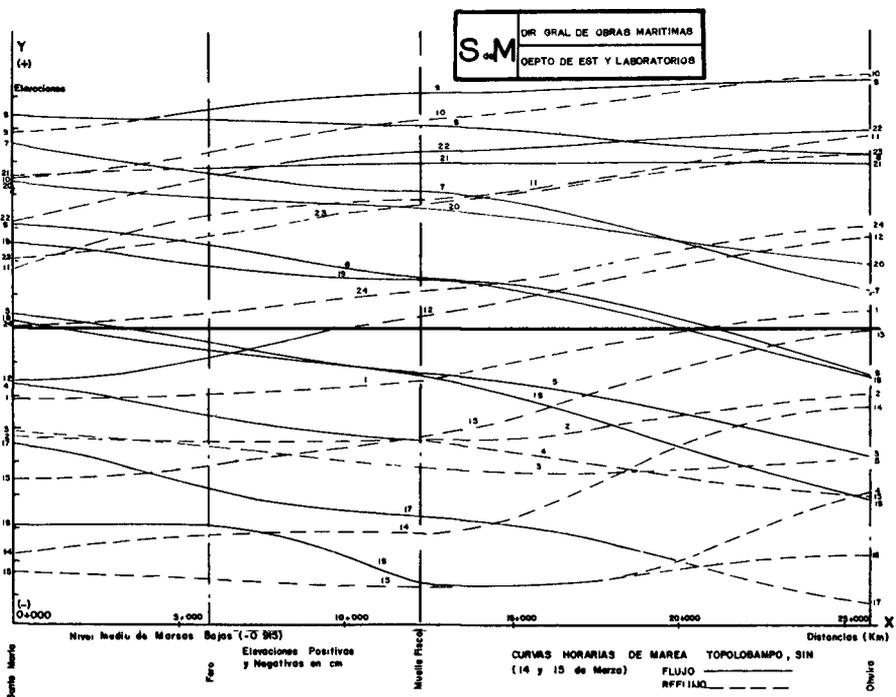


Fig. 5

COASTAL ENGINEERING

reglas no estaban relacionadas entre sí. Definido este nivel de acuerdo con las observaciones hechas se trazaron las curvas que permitieron estudiar la forma de propagación de la onda de marea, desde la entrada hasta el fondo de la Bahía de Ohuira.

Conocido ya la forma de propagación de la onda de marea tanto dentro de la Bahía de Topolobampo como de la Bahía de Ohuira, se procedió a la valuación de los volúmenes de agua que se movían durante cada ciclo de marea, a fin de determinar sus efectos sobre el canal principal de acceso al puerto.

El método de cálculo usado fue el de cubicación por incrementos finitos, partiendo de la ecuación de continuidad.

En nuestro problema se tomaron 4 secciones de cubicación; en tres de ellas podrían comprobarse los cálculos con las mediciones hechas el 14 y 15 de marzo. Las cuatro secciones consideradas fueron:

- 1.- Sección al fondo de la Bahía de Ohuira.- Esta sección tenía por objeto poder cuantificar el volumen que se movía entre la regla de marea localizada al fondo de dicha bahía y el punto máximo alcanzado por la marea; la zona cubierta por la marea se definió de la observación de la aerofotografía.
- 2.- Sección del Muelle Fiscal.- Se encuentra localizada en una garganta formada entre la Isla Gallinas y el Cerro San Carlos; es el paso de la Bahía de Topolobampo a la de Ohuira.
- 3.- Sección Punta Copas.- El Babiri.- Presenta la característica de tener una amplitud extraordinaria compuesta de un

ANALISIS HIDRAULICO DEL COMPORTAMIENTO DE
 LA ONDA DE MAREA A TRAVES DE LA BAHIA DE
 TOPOLOBAMPO Y SUS EFECTOS EN LA BARRA

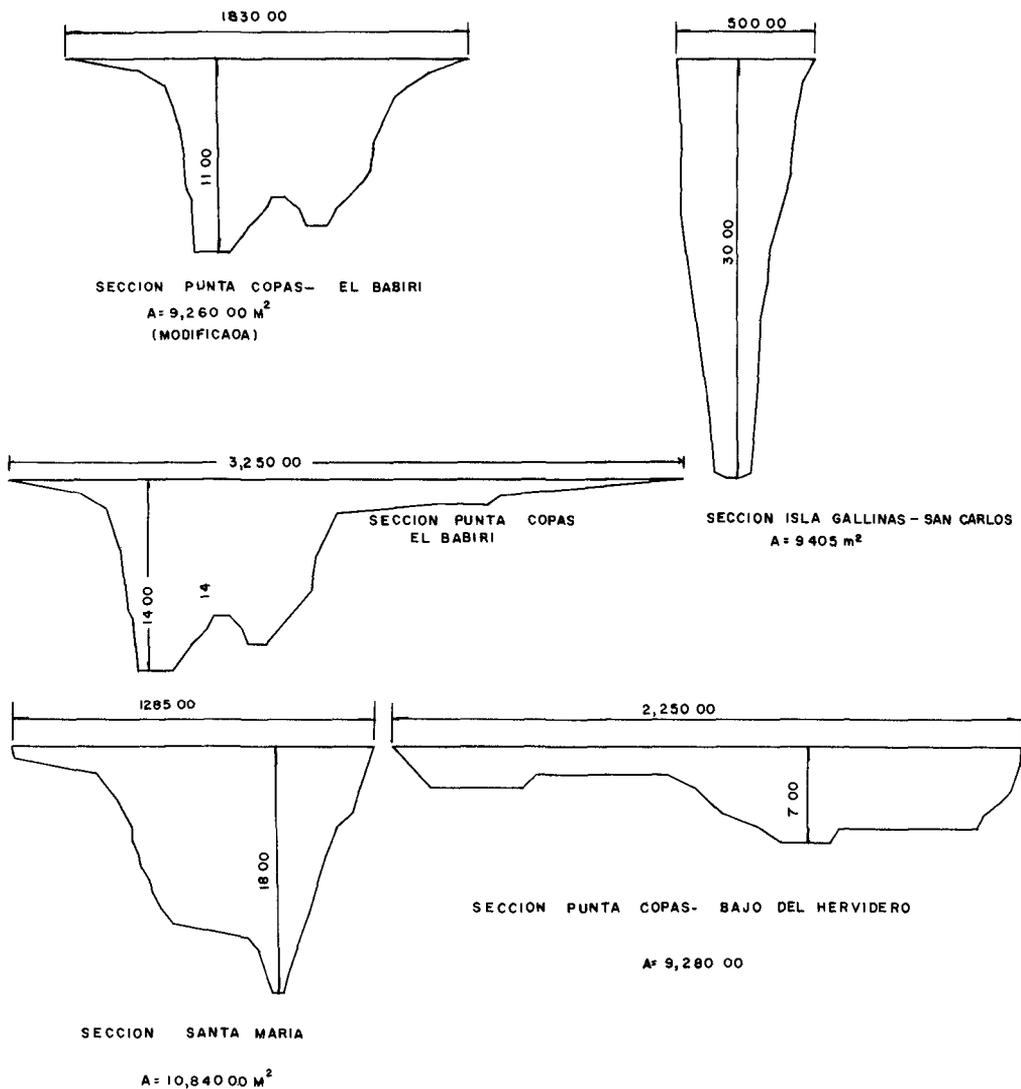


Fig. 6

COASTAL ENGINEERING

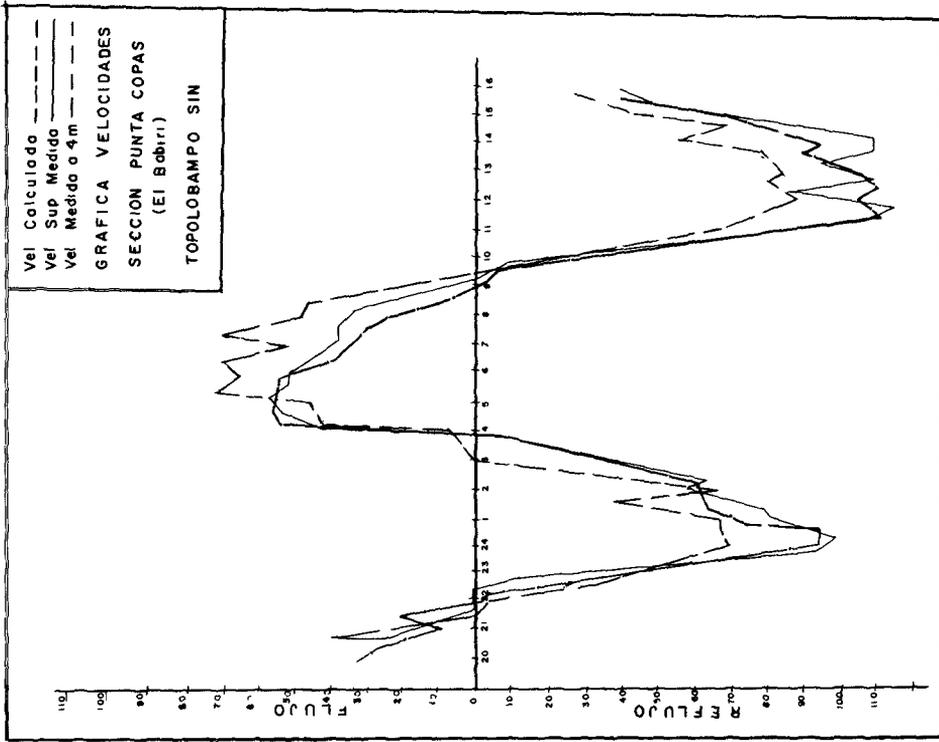


Fig. 8

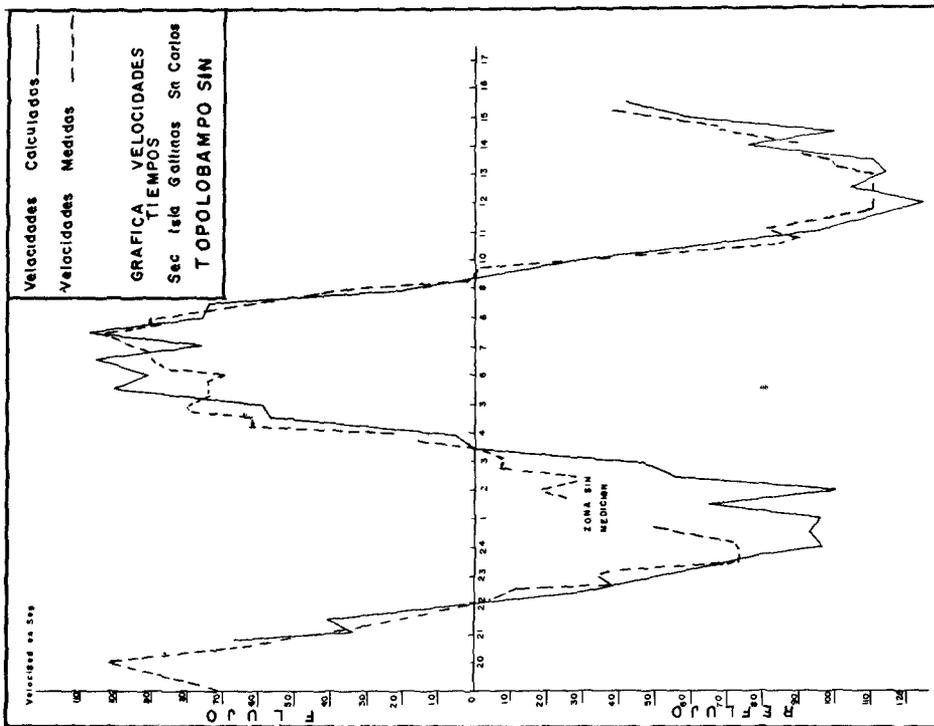


Fig. 7

ANALISIS HIDRAULICO DEL COMPORTAMIENTO DE
LA ONDA DE MAREA A TRAVES DE LA BAHIA DE
TOPOLOBAMPO Y SUS EFECTOS EN LA BARRA

extensa zona de poca profundidad y el canal principal de propagación de la onda. Dada esta geometría, se consideró como sección efectiva la constituida por el canal antes mencionado.

4.- Sección Santa María.- Esta es la sección de salida, en ella se unen los canales de lechuguillas y el proveniente de la bahía; Para fines de cálculo se tomó únicamente la sección definida por el canal de salida.

Posteriormente hubo que considerar una cuarta sección, la de Punta Copas - Islote del Hervidero, en la que no se hicieron mediciones.

La cubicación se hizo bajo las siguientes hipótesis:

a).- Sección de fondo de la Bahía de Ohuira.

- Se parte con condición de pleamar.
- A la zona cubierta por el ascenso de la marea se le dió una pendiente uniforme y se considera que las variaciones del nivel del agua son siempre según un plano horizontal.

b).- Sección Muelle Fiscal.

- Para el cálculo del aporte de la bahía de Ohuira el área del espejo libre considerada fue siempre la misma, salvo en los casos en que se presentaron puntos de marea nulos entre la regla del fondo y la salida de la bahía.

c).- Sección Punta Copas - El Babiri.- Como sección efectiva sólo se consideró la del canal principal. El aporte del estero de El Babiri se calculó con base en las mediciones de velocidad hechas a la salida de él y sólo para reflujo.

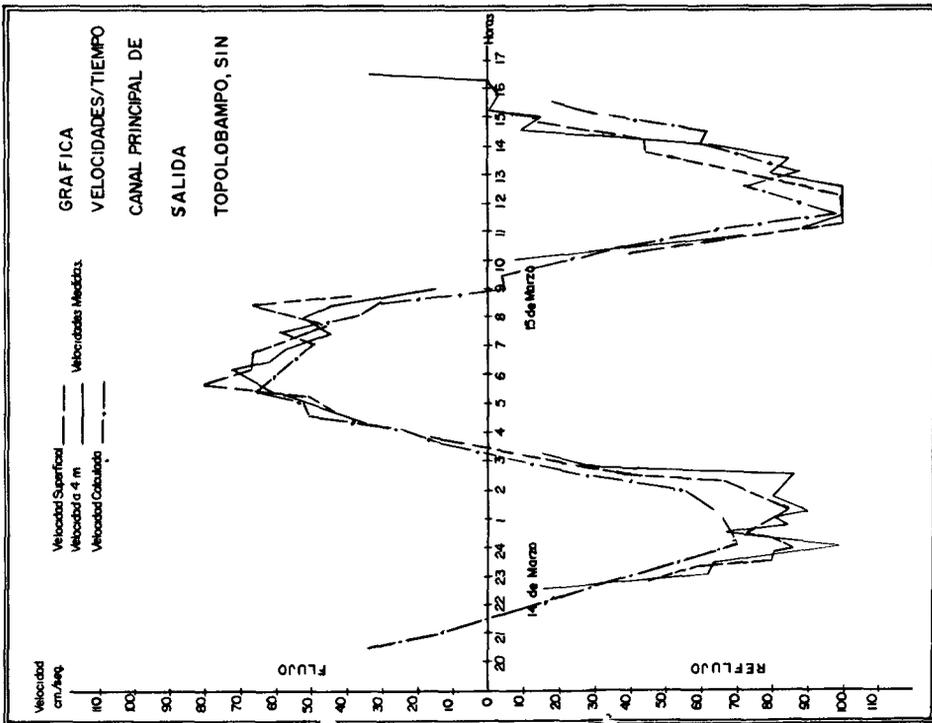


FIG. 9

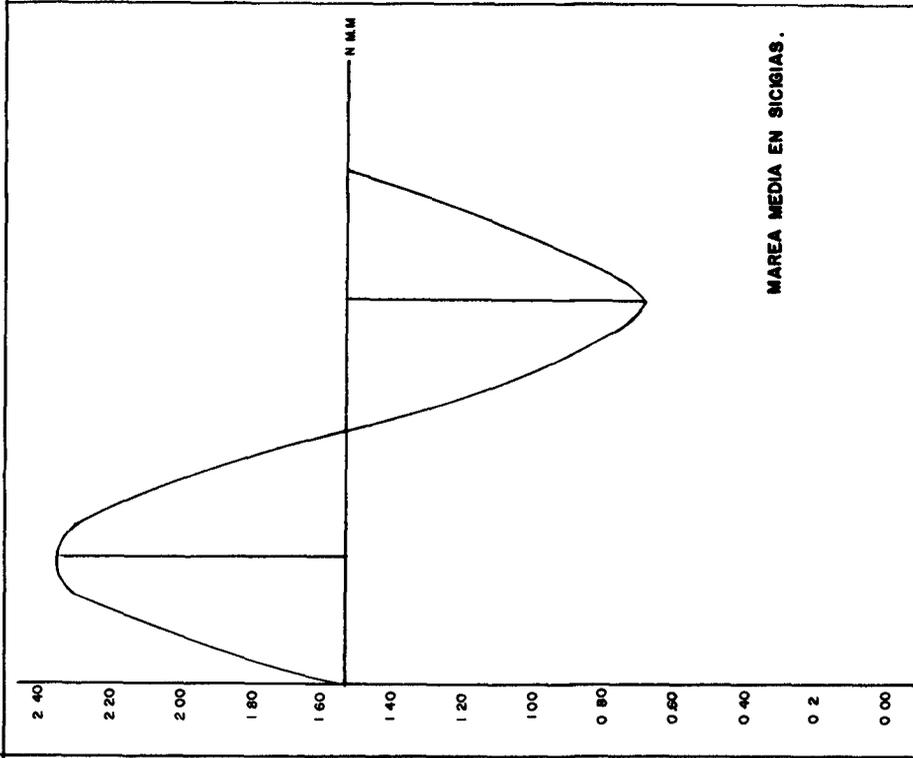


FIG. 10

ANALISIS HIDRAULICO DEL COMPORTAMIENTO DE
LA ONDA DE MAREA A TRAVES DE LA BAHIA DE
TOPOLOBAMPO Y SUS EFECTOS EN LA BARRA

d).- Sección Santa María.- Para esta sección ya no fue posible aplicar este método, debido fundamentalmente a la diversificación de gastos a la salida de la Bahía de Topolobampo. Se usó entonces el concepto de niveles de energía aplicando la ecuación de Bernoulli, la fórmula de Chezy y además la consideración de división del gasto total en cuatro partes:

- Gasto del estero de Lechuguillas.- Calculado a partir de las mediciones nechas a la salida del estero.
- Gasto de la sección considerada.
- Gasto de la sección Punta Copas - Islote del Hervidero.
- Gasto de la sección Punta Copas - El Babiri.

Hechas todas las consideraciones señaladas en los párrafos a, b, c y d se calcularon los volúmenes y consecuentemente las velocidades, quedando entonces en posibilidad de compararlas con las medidas superficialmente y a 4 m. de profundidad, corrigiendo por resistencia estas últimas.

Las mediciones de velocidades se hicieron cada 30 minutos, sin embargo hubo ocasiones que transcurrieron lapsos mayores entre dos medidas consecutivas además de que el método usado no da una gran precisión. Sin embargo la comparación entre las velocidades calculadas y las medidas da una aproximación aceptable.

CALCULO DE LA MAREA DOMINANTE.-

Se puede establecer una similitud entre el concepto de gasto dominante, sobre todo cuando el canal de propagación de la misma está también definido como en el caso de Topolobampo. Partiendo de lo anterior y basados en las mediciones de mareas que durante 5 años ha hecho el Instituto de Geofi-

COASTAL ENGINEERING

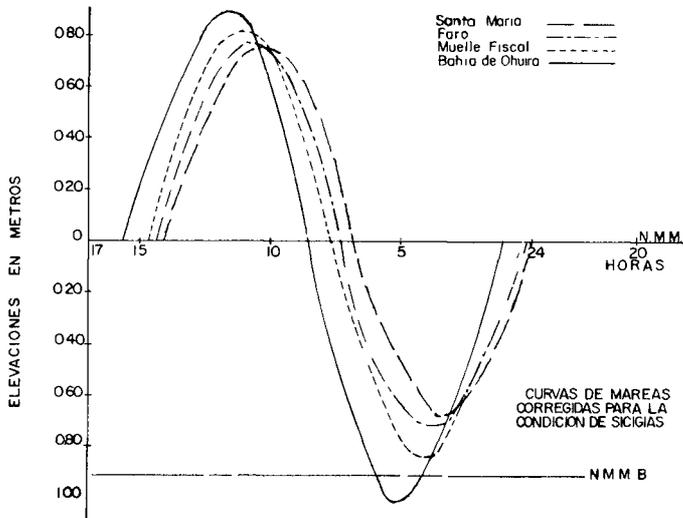


Fig. 11

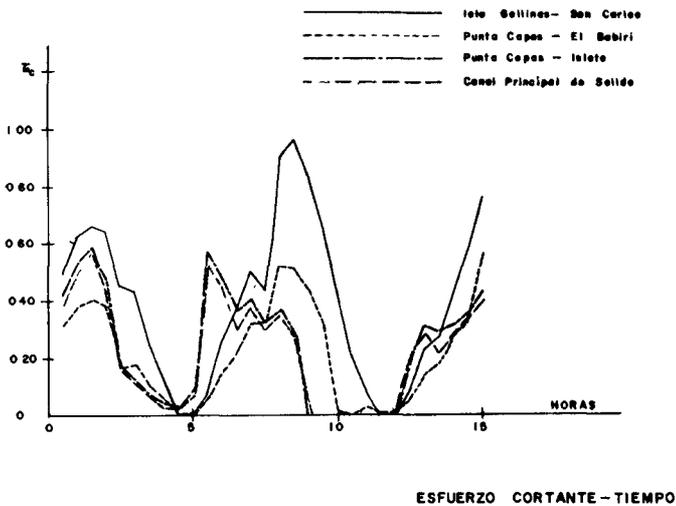


Fig. 12

ANALISIS HIDRAULICO DEL COMPORTAMIENTO DE
LA ONDA DE MAREA A TRAVES DE LA BAHIA DE
TOPOLOBAMPO Y SUS EFECTOS EN LA BARRA

sica de la Universidad Nacional Autónoma de México y en el concepto de gasto dominante se procedió a calcular la marea dominante.

La marea dominante se calculó tomando el promedio de las amplitudes mensuales máximas, con sus períodos correspondientes.

El resto de la curva se define tomando también los promedios de las amplitudes intermedias correspondientes a ciertos períodos de las mareas máximas de cada mes.

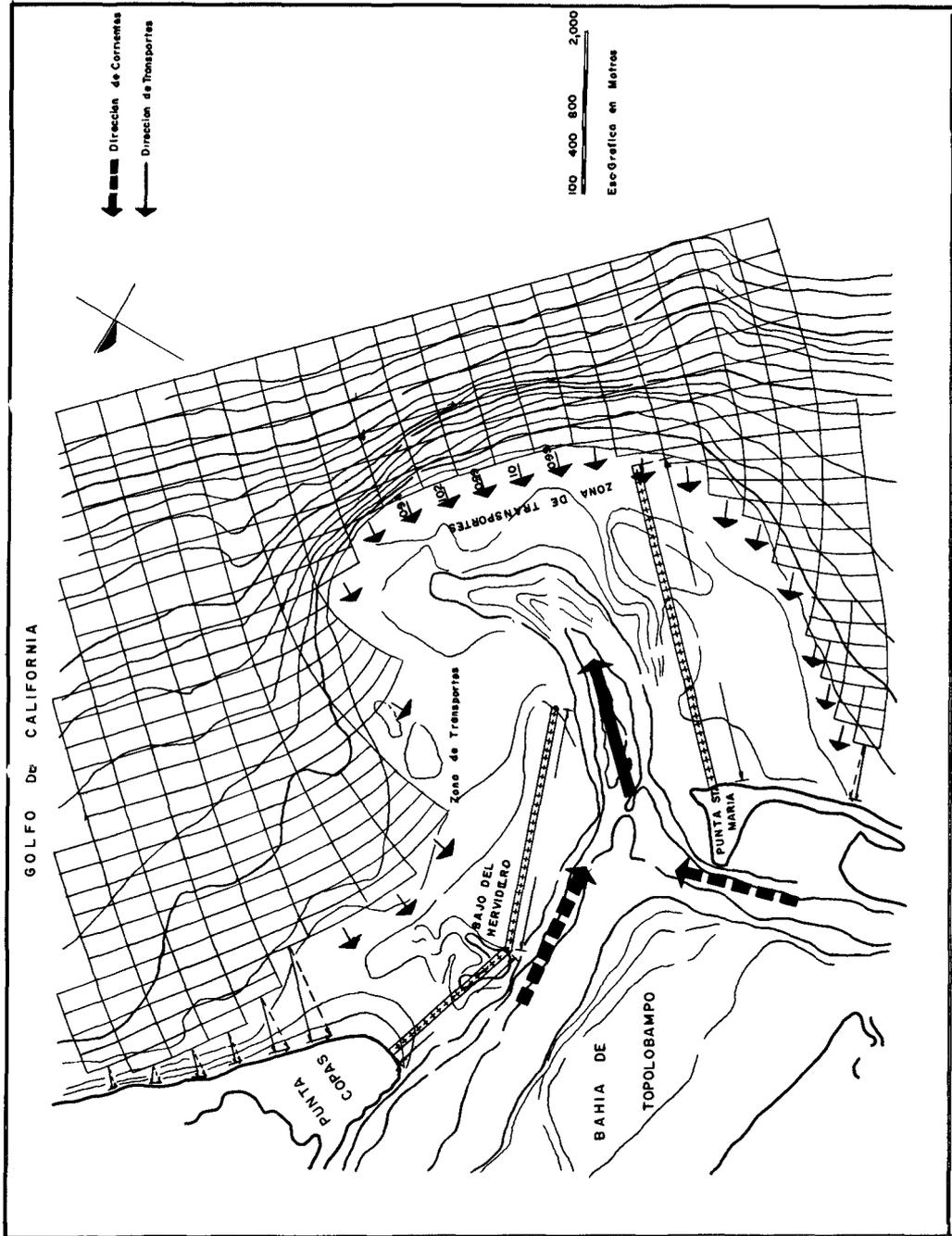
Determinada la curva de marea dominante en el Muelle Fiscal, el siguiente problema era la obtención de esta curva en los sitios en que no se tienen mas que las mediciones del 14 y 15 de marzo de 1961.

Inicialmente se pensó usar el método de Runge, corrigiendo los coeficientes, pero debido a la gran diferencia de las secciones transversales, las curvas obtenidas eran muy diferentes entre sí. Hubo entonces necesidad de recurrir a la similitud geométrica entre las curvas medidas el 14 y 15 de marzo en Santa María, Punta Copas y la Bahía de Ohuira -- con la del Muelle Fiscal para las mismas fechas. Definidas las características geométricas, partiendo de la marea dominante en el Muelle Fiscal se obtuvieron las curvas correspondientes a los puntos restantes.

El defasamiento entre cada una de las curvas se obtuvo con la aplicación simple de las fórmulas de la celeridad.

Definidas todas las características de la marea dominante, (amplitud, período, defasamiento, etc.), se aplicó el método de cálculo usado para el 14 y 15 de marzo a fin de determinar las velocidades correspondientes a ella.

COASTAL ENGINEERING



ANALISIS HIDRAULICO DEL COMPORTAMIENTO DE
LA ONDA DE MAREA A TRAVES DE LA BAHIA DE
TOPOLOBAMPO Y SUS EFECTOS EN LA BARRA

ESTABILIDAD DEL ACCESO.-

El estudio del comportamiento del canal propiamente dicho, se hizo considerando que estaba en equilibrio dinámico. Esta consideración fue posible hacerla de la comparación y análisis de planos topohidrográficos de la Bahía de Topolobampo obtenidos de 1939 a 1961.

Al calcular los gastos sólidos para flujo y reflujos en función del esfuerzo cortante de arrastre, usando una fórmula como la de DuBoys, por ejemplo; si las velocidades calculadas fueran correctas, y dado que los esfuerzos cortantes estarían en función ellas, la diferencia de gastos sólidos -- debería ser aproximadamente nula.

Se hicieron los cálculos correspondientes para el canal de salida, y de acuerdo con lo antes dicho la relación de los gastos sólidos debería ser unitaria para el estado de -- equilibrio. El resultado obtenido fue de 0.9. Considerando las hipótesis simplificadoras hechas y la influencia del --- acarreo litoral cuya presencia se tiene a corta distancia, el resultado se consideró correcto.

El problema que se presentó a continuación fue el de analizar el efecto de la marea dominante a la entrada del canal principal.

Debido al efecto del acarreo litoral cuya componente principal es del SW, el canal principal, cuya dirección de salida es NE-SW, se obstruye y se desvía hacia el SE perdiendo gradualmente profundidad hasta desaparecer en la parte media de la barra, que va de Punta Copas en dirección Oeste hasta el Islote del Hervidero continuando hacia el Sur hasta la zona de acarreos más intensa recurvando para tomar dirección --

COASTAL ENGINEERING

Norte y unirse con la Punta de Santa María.

Por la complejidad del problema de la salida del canal, agudizada por la carencia de datos, con objeto de no dar una respuesta aventurada y sin fundamento ni forma de comprobación, la Dirección General de Obras Marítimas ha ordenado el dragado de un canal de navegación con el doble fin de permitir la entrada al puerto de barcos de calado medio y a través de observaciones periódicas estudiar el comportamiento de dicho canal.

Como solución mediata se ha pensado en la construcción de 2 escolleras, una que salga de Punta Santa María en dirección S 45° W con 4 Km. de longitud y la segunda que vaya de Punta Copas hasta el bajo del hervidero y de allí seguir -- con dirección S 70° W a fin de dar una convergencia con la escollera norte.

Estas escolleras tendrían como objetivos el detener el acarreo litoral y encauzar las corrientes de marea con fines de profundidad.

Puede, entonces, hacerse el análisis, usando la teoría del esfuerzo cortante de arrastre, de los efectos que las mencionadas obras tendrían en el canal de salida. Este análisis se hizo a partir de los resultados obtenidos en el curso de este comunicado. Es decir, usando la marea dominante y sus gastos y bajo la consideración de que la totalidad del gasto saldría por la sección de las escolleras, se calcularon los esfuerzos cortantes, en función de las velocidades, en las secciones inicial y final de las escolleras; encontrándose que los esfuerzos serían de tal magnitud que inclusive pondrían en peligro la estabilidad de las escolle

ANALISIS HIDRAULICO DEL COMPORTAMIENTO DE
LA ONDA DE MAREA A TRAVES DE LA BAHIA DE
TOPOLOBAMPO Y SUS EFECTOS EN LA BARRA

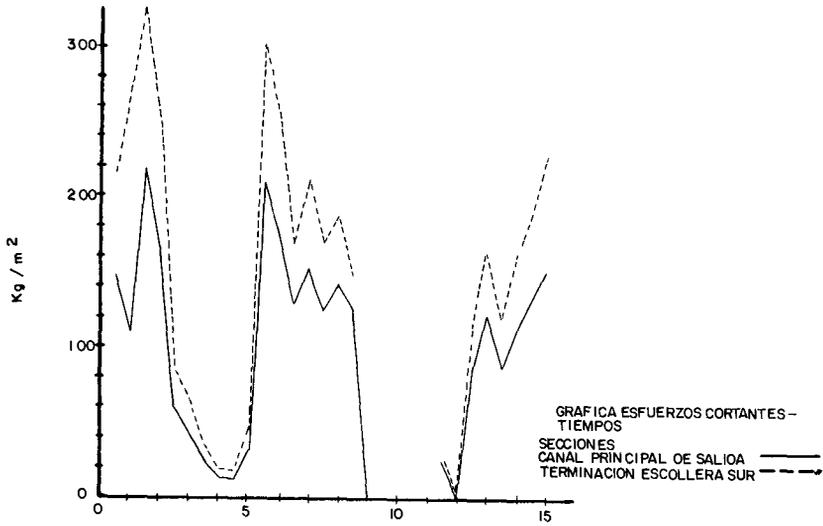


Fig. 14

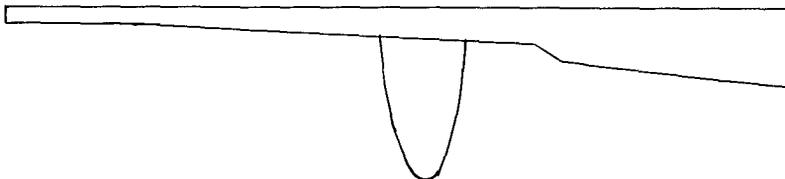
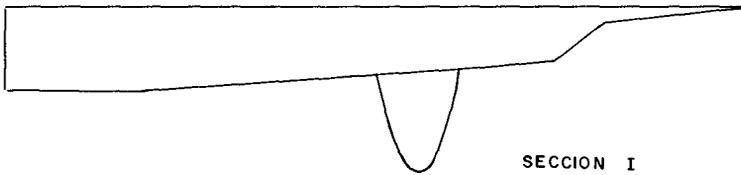


Fig. 15

COASTAL ENGINEERING

ras. Esta conclusión está basada en observaciones hechas - en otros países en lo que a estabilidad de accesos de marea se refiere, ya que en dichas observaciones y para caracte-- rísticas de acarreo litoral y de sedimento semejantes a las de Topolobampo; el esfuerzo cortante de estabilidad es de - 0.5 Kg/m^2 en tanto que en nuestro caso se obtuvieron valo-- res de 2 kg/m^2 en una sección media entre escolleras y 3 Kg/ m^2 a la salida de ellas.

Podría concluirse de los anteriores cálculos que el canal de acceso que se drague inicialmente, no sólo se con-- servará sino se ampliará, sin embargo su conservación o -- azoive dependerá también de los límites del cono de deyec-- ción. Este aspecto creemos que sólo podría comprobarse en un modelo de fondo fijo.

Sin embargo y a fin de tener una idea, aunque fuera - aproximada, del comportamiento de las obras mencionadas, se supusieron el cono de deyección de Hinds y las secciones -- dragadas a una profundidad de 10 m., comprobándose nuevamen-- te que el canal de navegación que se dragara se ampliaría - en forma considerable. Esto sería un índice de que cons--- truidas las escolleras no habría necesidad de efectuar nin-- gún dragado previo.

Por lo que se refiere al aspecto constructivo de las escolleras los problemas fundamentales serán la calidad del material a usarse y su transporte hasta el sitio de cons--- trucción, posteriormente se tendría el problema de socava-- ción.

Presentada esta idea de solución, podemos obtener -- las siguientes

ANALISIS HIDRAULICO DEL COMPORTAMIENTO DE
LA ONDA DE MAREA A TRAVES DE LA BAHIA DE
TOPOLOBAMPO Y SUS EFECTOS EN LA BARRA

CONCLUSIONES.-

1.- Los resultados obtenidos son puramente teóricos y servirán sólo para fijar una base en el análisis definitivo del problema.

2.- Es necesario realizar una campaña de medidas que abarque un período de tiempo mayor y planeada adecuadamente.

3.- Basados en la campaña de medidas, construir un modelo de fondo fijo a fin de determinar posición y dirección más adecuadas para las escolleras y fijar los límites del cono de deyección.

4.- Efectuar con los datos obtenidos en los incisos 2 y 3, de nueva cuenta, los cálculos presentados en este trabajo a fin de poder definir si la onda de marea en la bahía de Topolobampo tiene sobre la barra, la influencia que se ha definido después de este estudio preliminar.

Sólo de esta manera creemos que la solución que se proponga para resolver el problema del acceso al Puerto de Topolobampo puede resultar adecuada y asegurar un funcionamiento eficiente del puerto.