

# Estudio preliminar del régimen hidráulico del Puerto de Mazatlán, Sinaloa, México

Y. Montañón-Ley y F. Páez-Osuna

Estación Mazatlán, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM.

Recibido: 19 de septiembre, 1989. Aceptado: 30 de noviembre, 1990.

## RESUMEN

Se han estimado varios parámetros hidráulicos del Puerto de Mazatlán, Sinaloa, México. Los valores calculados son: resistencia del canal del puerto al flujo de agua o impedancia, 12.3; número de Manning, 0.09; factor de fricción de Darcy-Weisbach, 0.20; descarga, 36 m<sup>3</sup>/seg y prisma de mareas 6.32 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>. Se aplicó el método de O'Brien y Clark (1973) en la obtención de los tres primeros parámetros y el método de Metha *et al.* (1977) en la estimación de los dos últimos. Para ello se utilizó información de la batimetría portuaria y datos de mediciones de velocidades y elevaciones de marea obtenidas en función del tiempo en localidades selectas del canal. En adición se midieron corrientes superficiales sobre una red de estaciones esparcidas en el antepuerto. Se observó que la dinámica de las aguas del puerto está gobernada, esencialmente, por la marea oceánica y que las mayores velocidades se encuentran en el canal de navegación del puerto, el cual, debido a su mayor profundidad actúa como un conducto natural, confinando el movimiento del agua a un flujo básicamente unidimensional. En el antepuerto las corrientes son más débiles debido a la mayor amplitud de ese recinto.

**PALABRAS CLAVE:** Hidráulica, canal, marea, fricción, corrientes.

## ABSTRACT

Hydraulic parameters have been estimated in the Harbor of Mazatlan, Sinaloa, Mexico. The calculated values are: The harbor channel resistance to the water flow or impedance, 12.3; the Manning number, 0.09; the Darcy-Weisbach friction factor, 0.20; The discharge, 36 m<sup>3</sup>/seg; and the tidal prism, 6.32 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>. O'Brien and Clark's (1973) method has been applied to obtain the three former parameters and Mehta *et al.* (1977) techniques has been used to evaluate the latter parameters. Bathymetric charts and tidal elevations and velocities data, obtained at selected points of the channel as a function of time, were used. In addition surface currents have been measured at a station network spread over the harbor. Basically the harbor hydrodynamics is governed by the ocean tide. The greater velocities were found in the harbor navigation channel, which confines the water circulation, yielding an one-dimensional flow.

**KEY WORDS:** Hydraulics, channel, tide, friction, currents.

## INTRODUCCION

En las últimas décadas el acelerado desarrollo urbano de Mazatlán, Sinaloa, México, ha generado múltiples problemas en su zona litoral y cuerpos de agua costeros. Específicamente, en el Estero de Urias, los combustibles y productos químicos no degradables, generan contaminación; la recuperación de terrenos del mar y las operaciones de dragado causan sedimentación y azolves; la amplitud de la marea y las descargas fluviales producen problemas de sobre-elevación del nivel de las aguas.

La planeación correcta de obras de ingeniería y la solución de los problemas inherentes al Estero, implican la realización de un estudio hidrodinámico en el área. El objetivo de este trabajo es dar un paso en ese sentido, investigando, en forma preliminar, la circulación y el régimen hidráulico del puerto, el cual está incluido dentro del sistema lagunar denominado Estero de Urias.

Existen varios estudios hidrodinámicos teóricos para predecir velocidades y rangos de marea (Dronkers, 1964;

Leendertse, 1967; Platzman, 1972; Gallagher, 1973). Otros métodos, como los de Brown (1928), Keulegan (1967) y Dean (1971), para propósitos ingenieriles, se aplican solamente a pequeñas entradas y canales. O'Brien y Clark, 1973, en un extensivo análisis de entradas de marca, proponen una aproximación relativamente más empírica que los modelos de Keulegan. Tal aproximación requiere de la determinación de ciertos coeficientes, como impedancias y desfases, que permiten predecir corrientes y mareas. En este trabajo se efectuó un estudio del patrón general de corrientes y se evaluaron en forma preliminar, coeficientes que reflejan el comportamiento hidráulico del área en estudio.

En el Estero de Urias se han realizado pocos estudios concernientes a la circulación de aguas. La Secretaría de Marina (1974) estudió corrientes utilizando equipo de registro autónomo; Alvarez (1977) llevó a cabo mediciones puntuales de corrientes superficiales y de fondo, mientras que Villalba (1986) analizó en forma somera algunos aspectos de la excursión y del prisma de mareas.

## AREAS EN ESTUDIO

El área en estudio se localiza en la costa occidental mexicana (figura 1). Comprende la parte del Estero de Urias utilizada como área portuaria que incluye el vaso portuario, el antepuerto y el canal de navegación de Mazatlán. Esta zona está protegida del oleaje por dos escolleras, una de las cuales se inicia en las estribaciones del Cerro del Crestón y la otra en la Isla de Chivos. La marea en Mazatlán es semidiurna mixta (Villalba, 1986).

La batimetría del puerto define dos áreas principales. El canal de navegación que se extiende sobre un eje que parte de la sección transversal comprendida entre los dos rompeolas de protección portuaria, hasta el punto 1 señalado en la figura 1. Esta zona es la de mayor profundidad ya que alcanza hasta los 12 m entre las dos escolleras principales y se mantiene artificialmente mediante obras de dragado. La otra área es una dársena relativamente pequeña y de escasa profundidad conocida como antepuerto (figura 1), que usualmente se encuentra ocupada por embarcaciones pequeñas; su profundidad máxima es de 5 m (Secretaría de Marina, 1988).

## METODOS

En el estudio se realizaron dos tipos de mediciones:

1. Las de corrientes superficiales (a un metro de profundidad) se midieron en el antepuerto de Mazatlán sobre una red de estaciones cuya posición se calculó mediante un sextante de ángulos horizontales. El plano base fue la carta SM 368, Secretaría de Marina (1988). Las mediciones se efectuaron de acuerdo a condiciones de flujo y reflujo de mareas de sicigia. Las reducidas dimensiones del vaso portuario permitieron realizar las mediciones de corrientes superficiales sobre la red completa de estaciones en un corto intervalo de tiempo (poco más de una hora). Ya que el flujo del agua dura aproximadamente seis horas para la marea semidiurna del Estero, las corrientes se representaron en forma sinóptica. En forma análoga se procedió a medir las corrientes superficiales durante los otros tiempos de flujo y reflujo. La magnitud y la dirección de las corrientes se determinaron utilizando correntímetros marca Kahlsico (Gemware 231 WA300).

2. El otro tipo de mediciones se orientó al estudio de las características hidráulicas del canal. Para ello se midieron las corrientes en el punto correspondiente a la mínima sección transversal  $A_c$  del canal (figura 1). Las velocidades se midieron a 1 y 3 m de profundidad aproximadamente cada 2 horas durante 24 horas. Asimismo, se determinaron, con igual frecuencia, las variaciones del nivel del agua en el punto (1) de la figura 1, usando un mareógrafo de presión marca "Benthos". La variación de la marea en el punto (2) se obtuvo de un mareógrafo instalado por el Instituto de Geofísica de la UNAM. En adición se obtuvo información de mareas de las tablas publicadas por el Instituto de Geofísica de la UNAM (1989).

El prisma de mareas se determinó hidráulicamente según Keulegan (1967):

$$P_H = \frac{Q_{max} T}{\pi \cdot C_k} \quad (1)$$

donde  $Q_{max}$  es la descarga máxima de la corriente promediada durante el flujo y reflujo de la marea,  $T$  es el período de la marea y  $C_k$  un coeficiente que considera las características de las corrientes no senoidales, medidas bajo condiciones reales. Keulegan y Hall (1950) encontraron que un valor de  $C_k = 0.86$  se ajusta satisfactoriamente a prismas de marea calculados mediante velocidades de corrientes. Este valor es un promedio de las mediciones de descargas en diferentes canales y zonas de comunicación entre el océano y cuerpos de agua costeros.

Para estimar la descarga se siguió la aproximación desarrollada por Metha *et al.* (1977) quienes consideran, en su método, una sección transversal como la señalada en la figura 2 dividida en  $m$  subsecciones de amplitud  $\Delta w_i$ ; definidas por las profundidades  $(h_m)_{i-1}$  y  $(h_m)_i$  bajo el Nivel Medio del Mar (NMM) con  $h_i = h_i + \eta$  como una profundidad variable entre los valores extremos de cada sección. El nivel instantáneo de la superficie del agua con respecto al NMM está dado por

$$\bar{h} = \bar{h}(x, y)$$

$$\eta = \eta(x, y, t)$$

$$h = \bar{h} + \eta, \quad h = h(x, y, t)$$

donde "x", "y" y "t" se refieren a las coordenadas horizontales y al tiempo.

La estimación de la descarga se obtuvo de una expresión analítica a partir de velocidades medidas en un punto, considerando que el flujo está hidráulicamente en el rango correspondiente a un número de  $Re > 70$ . Si se supone un fondo horizontal en cada subsección la descarga instantánea está dada por:

$$Q = u_c \chi \quad (2)$$

$$\chi = \frac{\sum_{i=1}^{i=m} h_i^{3/2} \ln \left[ \left( \frac{1}{e} \left( 29.7 \frac{h_i}{k} + 1 \right) \right)^{\left( 1 + \frac{k}{29.7 h_i} \right)} + 1 \right] \Delta W_i}{h_c^{1/2} \ln \left( \frac{29.7 p h_c + k}{k} \right)} \quad (3)$$

donde

$u_c$  = velocidad registrada por el correntímetro

$k$  = rugosidad del fondo

$h_i = \bar{h}_i + \eta$ , (figura 2)

$\Delta W_i$  = amplitud de cada subsección

$\bar{h}_c$  = profundidad del sitio de colocación del correntímetro con respecto al NMM

$e = 2.7183$

$$p = \frac{\gamma_c}{h_c}$$

$\gamma_c$  = elevación del correntímetro sobre el fondo

$h_c = \bar{h}_c + \eta$

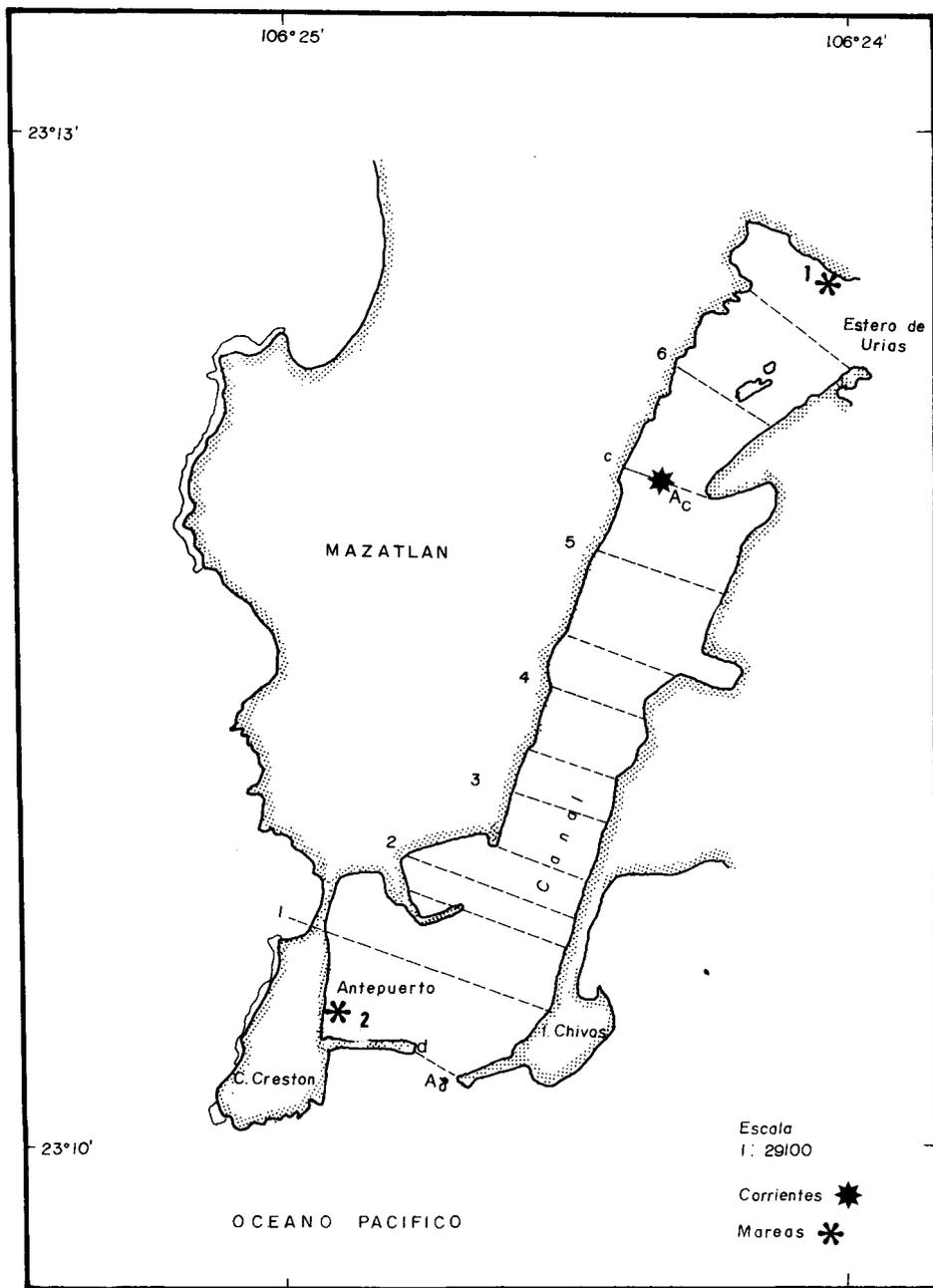


Fig. 1. Localización geográfica del área en estudio. Ubicación de las secciones transversales 1-6, d y c. Posición de los puntos de medición continua (24 hrs) de corrientes y mareas.

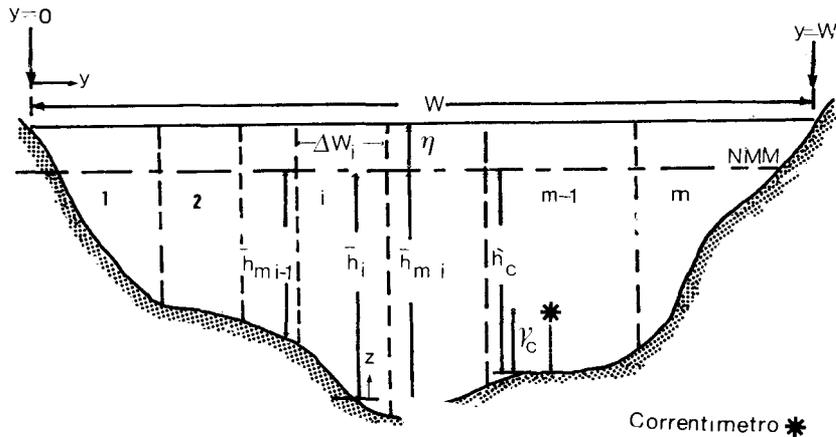


Fig. 2. Sección transversal típica dividida en m subsecciones para calcular la descarga.

En esta investigación, la sección transversal Ac se dividió en ocho subsecciones, lo cual hace razonable la suposición de un fondo horizontal, si se toma en cuenta que el ancho de la sección es de 335 m y la profundidad máxima es de 5 m, quedando en evidencia lo reducido de la pendiente del fondo. El correntímetro se colocó a una elevación  $\gamma_c = 2.0$  m sobre un punto en el fondo cuya profundidad con respecto al Nivel Medio del Mar era  $h_c = 5.0$  m. En la mayoría de las bocas y entradas de marea, Metha y Ozsoy (1978) han encontrado que la rugosidad del fondo k está dada por la siguiente expresión

$$k = 29.7 z_0 \quad (3.1)$$

donde  $z_0$  se define como el origen virtual de un perfil logarítmico de velocidades cerca del fondo. Esta ecuación se utilizó para calcular la rugosidad del fondo k.

Para evaluar  $z_0$  se siguió el procedimiento descrito por Metha *et al.* (1975). Se utilizó el perfil de velocidades (figura 3) medidas en la sección transversal Ac del canal. La siguiente ecuación se ajustó a los puntos del perfil de velocidades con el fin de evaluar  $u^*$  y  $z_0$ .

$$u = \frac{u^*}{K} \ln z - \frac{u^*}{K} \ln z_0 \quad (3.2)$$

donde:

- K = 0.40 (constante de Karman).
- $u^*$  = velocidad de fricción.
- $z_0$  = origen virtual del perfil logarítmico (elevación z a la cual la velocidad  $u = 0$ ).

El procedimiento utilizado para estudiar la hidráulica del canal fue el de O'Brien y Clark (1973). La figura 4 presenta curvas típicas de elevaciones de marea en el océano y en un cuerpo de agua costero conectado al primero por un canal. Ambas curvas se suponen senoidales con respecto al mismo nivel medio de mareas. Otra suposición es que el

efecto de inercia de la masa del flujo de agua en aceleración a través de la entrada es de magnitud despreciable. El agua estática ocurre cuando las curvas se interceptan. Las ecuaciones relevantes son:

$$\eta_o = a_o \cos \sigma t, \text{ elevación de la marea oceánica.} \quad (4)$$

$$\eta_e = a_e \cos (\sigma t - \epsilon), \text{ elevación de la marea del estero.} \quad (5)$$

$$2a_e = 2a_o \cos \epsilon, \text{ rango en el estero.} \quad (6)$$

Aquí  $\sigma = 2\pi / T$  es la frecuencia angular correspondiente al período T de la marea. La carga en cualquier tiempo t durante el ciclo de la marea es:

$$\eta_o - \eta_e = a_o [\cos \sigma t - \cos \epsilon \cos (\sigma t - \epsilon)] \quad (7)$$

$$\text{Aguas estáticas ocurren en } \sigma t = \epsilon \quad (8)$$

$$\text{Carga máxima ocurre en } \sigma t = \epsilon + \pi \quad (9)$$

$$\text{Carga máxima } (\eta_o - \eta_e)_{\max} = a_o \sin \epsilon \quad (10)$$

Si la pérdida de carga por fricción es cuadrática el valor máximo de la velocidad del flujo  $u_{\max}$ , promediado sobre el área Ac está dado por:

$$\bar{u}_{\max} = \left[ \frac{(2ga_o \sin \epsilon)}{F} \right]^{1/2} \quad (11)$$

donde:

$$F = K_{en} + K_{ex} + \frac{fL_c}{4R_c} \quad (12)$$

Aquí,  $K_{en}$  y  $K_{ex}$  son coeficientes que representan las pérdidas de carga por entrada y salida del flujo al canal, respectivamente, f es el factor de fricción de Darcy-Weisbach y  $R_c$  es el radio hidráulico de Ac. O'Brien y Clark (1973) definen de acuerdo a (12) un coeficiente de pérdida friccional o impedancia F por analogía con problemas eléctricos o acústicos de estado estacionario.

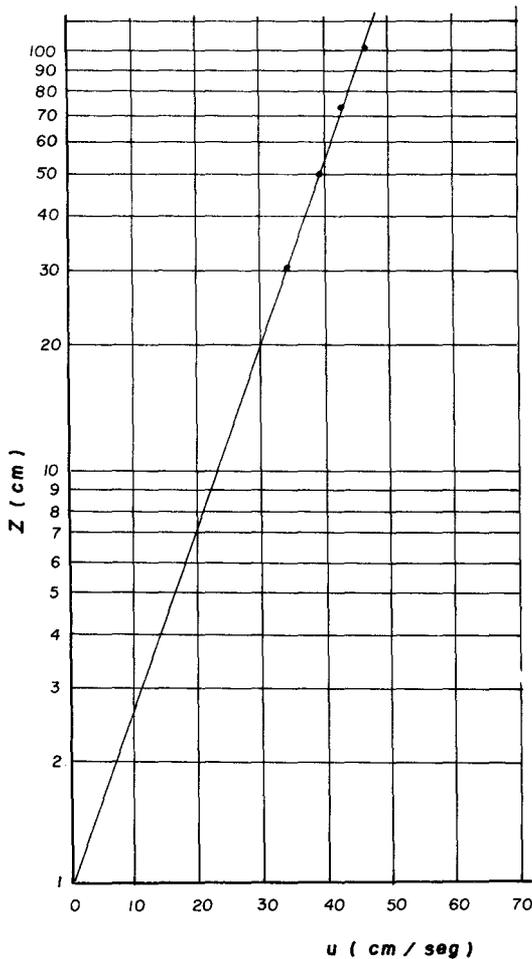


Fig. 3. Perfil de velocidades cerca del fondo en la sección transversal Ac del canal.

Los coeficientes de entrada y salida suman aproximadamente la unidad. La cantidad  $L_c$  es la longitud de un canal de área  $A_c$  que tendría la misma pérdida de carga por fricción que el canal real.  $L_c$  fue estimada de acuerdo con:

$$L_c = \left( A_c^2 h_c^{4/3} \right) \left( \sum_{i=1}^{i=m} \frac{\Delta x_i}{h_i^{4/3} A_i^2} \right) \quad (13)$$

donde  $A_i$  y  $h_i$  son el área y la profundidad media bajo el nivel medio del mar, las cuales son constantes en un intervalo  $x_i$ . La fricción y el coeficiente de Manning se estimaron de acuerdo a Metha y How (1974);

$$f = (\bar{F} - 1) \frac{4 R_c}{L_c} \quad (14)$$

$$n = 1.48 R_c^{1/6} [(l) / 8g]^{1/2} \quad (15)$$

### RESULTADOS

La dinámica de las aguas del Estero de Urias básicamente está gobernada por la marea oceánica. Durante la pleamar el agua oceánica fluye hacia el estero a través de la sección transversal comprendida entre las dos escolleras del puerto; mientras que en la bajamar el flujo se invierte

obedeciendo al descenso del nivel de la marea en el océano. El patrón de circulación dentro del puerto está delineado esencialmente por la configuración y geometría del mismo. Las velocidades más altas se concentran en el canal de navegación, el cual, debido a su mayor profundidad actúa como un conducto natural confinando el movimiento del agua a un flujo básicamente unidimensional. En el antepuerto las corrientes son más débiles debido a la mayor amplitud de ese recinto.

La figura 5 es una representación vectorial de las corrientes medidas en el antepuerto y parte del canal de navegación, durante mareas de sicigia, para intervalos de flujo y reflujo. Los vectores de mayor magnitud se situaron en el canal de navegación; su dirección responde sensiblemente al cambio de condiciones de pleamar a bajamar y viceversa. Los vectores de menor magnitud se observaron en el área del antepuerto.

La figura 6 presenta las velocidades de las corrientes registradas a 1.0 y 3.0 m de profundidad en el punto correspondiente a la mínima sección transversal  $A_c$  del canal en intervalos aproximados de dos horas durante un ciclo de mareas. La figura 7 muestra la elevación de marea en función del tiempo en los puntos correspondientes a ambos extremos del canal de navegación. Las mediciones se efectuaron durante mareas de cuadratura. Las velocidades máximas a 1.0 m de profundidad fueron de 37 cm/seg en flujo y de 43 cm/seg en reflujo, mientras que a 3.0 m la velocidad máxima fue de 20 cm/seg en flujo y 46 cm/seg en reflujo. La máxima elevación de marea en la parte interna del estero fue de 47 cm y la mínima de -63 cm, mientras que en el lado oceánico el máximo nivel fue de 52 cm y el mínimo de -67 cm; referidos ambos al Nivel Medio del Mar.

Tabla 1. Parámetro de cada subsección  $i$ , en la sección transversal de área mínima  $A_c$  del canal:  $A_i$  = área,  $(\bar{h}_m)_i$  = profundidad media,  $\Delta W_i$  = amplitud,  $(i = 1, 2, \dots, 8)$

	$A_i$ ( $m^2$ )	$(\bar{h}_m)_i$ (m)	$\Delta W_i$ (m)
1	4.5	1.0	45.0
2	84.4	2.5	33.8
3	91.7	3.5	26.3
4	117.9	4.5	26.3
5	337.5	5.0	67.5
6	155.0	4.6	33.7
7	163.2	3.0	54.4
8	52.5	1.0	52.5

Las ecuaciones 1 - 3 permitieron estimar hidráulicamente (con respecto a la sección transversal mínima  $A_c$ ) un prisma de marcas de  $6.32 \times 10^6 m^3$ . Las descargas máximas instantáneas en flujo y reflujo se utilizaron para obtener una descarga promedio  $Q_{max} = 36 m^3/seg$ . El período, resultante de la suma de los tiempos de pleamar y

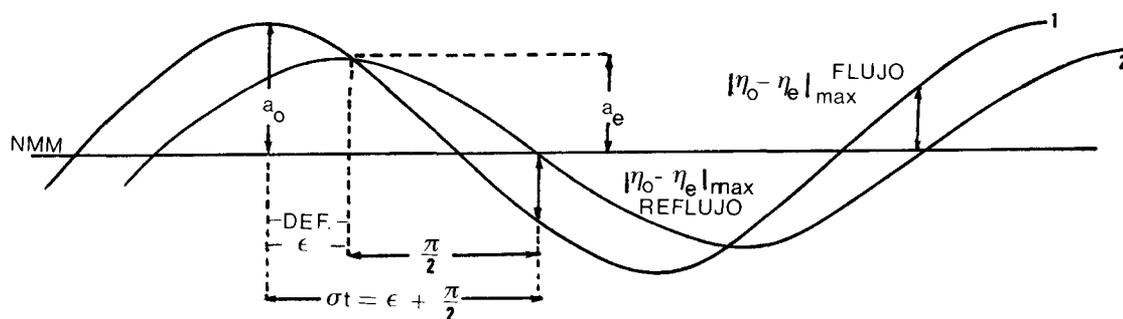


Fig. 4. Característica de la marea en el océano (1) y en un cuerpo de agua costero (2) conectados por una entrada de mareas. Se asume que ambas curvas son senoideas con respecto al NMM.

bajamar, fue  $T = 13.2$  h. La Tabla 1 presenta otros parámetros hidráulicos de la sección transversal Ac, que fueron vertidos en la ecuación 3 para calcular el coeficiente contenido en la fórmula de la descarga. El factor k de rugosidad del fondo calculado fue de 0.30 para  $z_o = 1.01$  cm y  $u^* = 4$  cm/seg (ecuaciones 3.1 y 3.2).

Otras características hidráulicas del canal se determinaron utilizando el procedimiento de O'Brien y Clark (1973) previamente descrito:

La resistencia del canal al flujo de agua o impedancia obtenida de la ecuación 11 fue  $F_F = 10.0$  para condiciones de flujo y  $F_R = 14.6$  para condiciones de reflujo del agua.

El desfase o retraso de marea observado entre la marea alta en el punto (2) y la marea alta en el estero (1) fue  $\epsilon_F = 9.0^\circ$  mientras que el desfase registrado entre la marea baja en el punto (2) y la marea baja en el estero (1) fue  $\epsilon_R = 13.6^\circ$ .

La figura 8 presenta las secciones transversales y sus características geométricas que aplicadas a la ecuación 13 produjeron una longitud efectiva  $L_c = 714$  m del canal.

La fricción  $f = 0.20$  del canal se determinó utilizando la ecuación 14 con una impedancia para flujo y reflujo de marea. El coeficiente de Manning  $n = 0.09$  se obtuvo mediante la ecuación 15.

## DISCUSION

En este estudio, la representación vectorial de la figura 4 corresponde a mediciones efectuadas durante mareas de sicigia, por lo cual la magnitud de los vectores es alta, comparable con los valores encontrados por la Secretaría de Marina (1974), quien reportó velocidades de corrientes en el

Estero de Urias hasta de 90 cm/seg en la parte más angosta del canal de navegación y hasta de 52 cm/seg en la zona del antepuerto de Mazatlán, realizándose dichas mediciones, también, durante mareas de sicigia.

Si se comparan los vectores de velocidad de este trabajo a los valores encontrados por Alvarez (1977) se observa que los de este investigador son excesivamente elevados ya que reporta velocidades hasta de 210 cm/seg.

Villalba (1986) registró velocidades de 20 cm/seg en la Cabecera del Estero de Urias. Así mismo, estimó con referencia a la boca del Estero, un prisma de mareas de  $4.1 \times 10^6$  m<sup>3</sup> y observó desfases de la marea de 60 minutos entre la boca y la cabecera del estero. Las velocidades determinadas por este investigador resultan bajas en relación a las medidas en este trabajo, lo cual es explicable debido a que sus mediciones las realizó en la cabecera del estero donde normalmente las corrientes son "débiles", sin embargo, el prisma de mareas determinado por Villalba (1986) es del mismo orden de magnitud que el calculado en la presente investigación.

La impedancia determinada en este trabajo para condiciones específicas de marea constituye solamente un valor estimativo de la resistencia del canal al flujo del agua. O'Brien y Clark (1973) notaron que aunque la impedancia F y el desfase o retraso de marea muestran fluctuaciones diarias, los valores promedio mensuales presentan cierta constancia. Las variaciones pueden deberse a cambios en la fricción del fondo, fluctuaciones en las elevaciones de marea y en las velocidades de flujo.

Keulegan (1967) señaló que el efecto de fricción hace que la curva de la marea en un cuerpo de agua costero conectado con el océano por un canal, se desvíe del comportamiento senoidal. Este autor presenta sus resultados como funciones de un coeficiente cuya obtención implica el conocimiento de T, Ac y F.

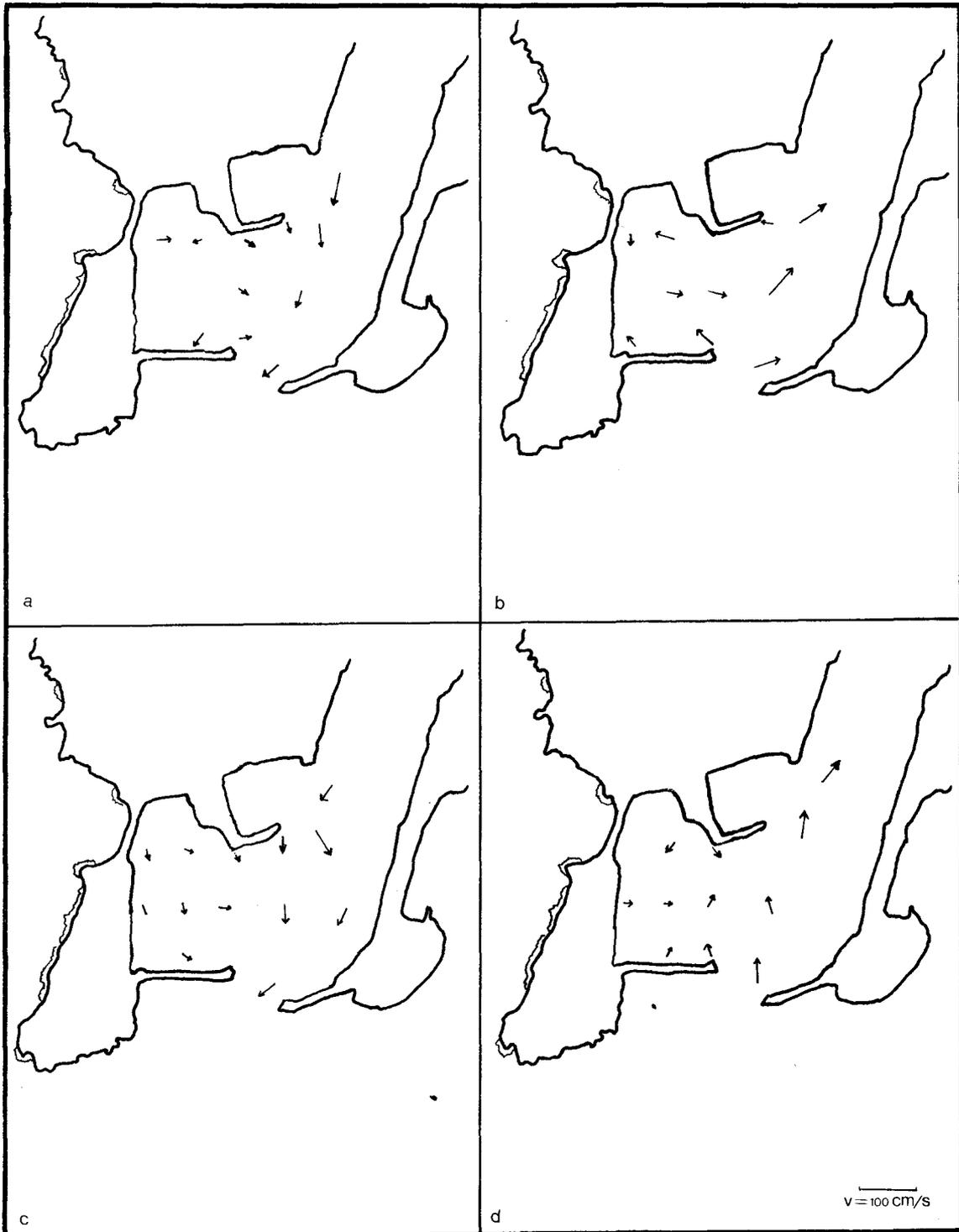


Fig. 5. Representación vectorial de corrientes superficiales medidas en el antepuerto y en el canal de navegación durante mareas de sicigia en flujo (b, d) y en reflujo (a, c).

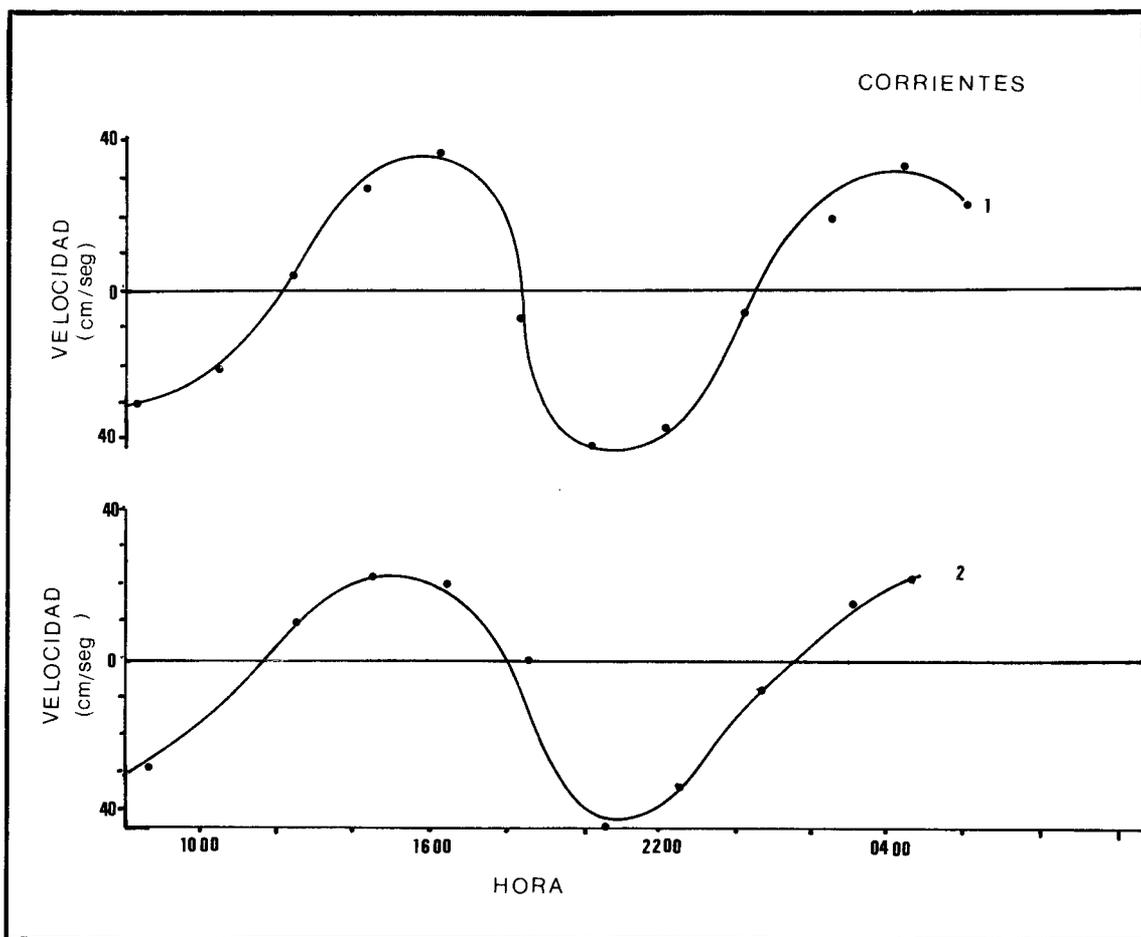


Fig. 6. Velocidad de la corriente a 1 m (1) y 3 m (2) de profundidad en la sección transversal de área mínima  $A_c$  del canal.

Dicho coeficiente lo utiliza para predecir las velocidades y elevaciones de la marea; sin embargo sus relaciones cuantitativas son válidas solamente para cuerpos de agua costeros con entradas o canales relativamente pequeños (O'Brien y Clark, 1973). Mayor-Mora (1973), utiliza un coeficiente similar al anterior para hacer sus predicciones, pero dicho coeficiente no incluye la impedancia  $F$ .

En los puertos y lagunas costeras mexicanas son muy escasos o inexistentes los estudios concernientes a la resistencia de los canales al flujo y refluo de las mareas. Los valores generados de este trabajo se compararon con información obtenida por Metha y How (1974) en varias entradas de marea en "Long Island, New York" y con datos recopilados por el mismo autor en otras áreas costeras de los Estados Unidos de América (Tabla 2). Las entradas de Lake Worth, Shinnecock y Jones se aproximan más que las otras entradas en sus características geométricas e hidráulicas a las del canal del Puerto de Mazatlán.

Tabla 2. Características geométricas y coeficientes de fricción en entradas de marea conectando cuerpos de agua costeros con el Océano, en E.U.A. y México\*.

Entrada	$R_c$ (m)	$L_c$ (m)	$F$	$f$
Rockaway	6.4	7051	5.2	0.015
Jones	4.3	1750	7.3	0.082
Fire Island	4.3	6572	18.5	0.045
Moriches	3.0	207	6.4	0.32
Shinnecock	2.4	344	9.2	0.24
Indian River	3.3	3339	15.3	0.14
St. Marys	10.0	11712	7.6	0.057
Lake Worth	6.4	915	5.9	0.22
Humboldt Bay	5.5	3202	5.1	0.11
San Diego	12.5	12169	6.7	0.038
Mayor Mora	0.12	29	7.6	0.81
Mob Inlet	0.32	91	35.9	0.66
-----				
Estero de Urias*	3.2	714	12.3	0.20

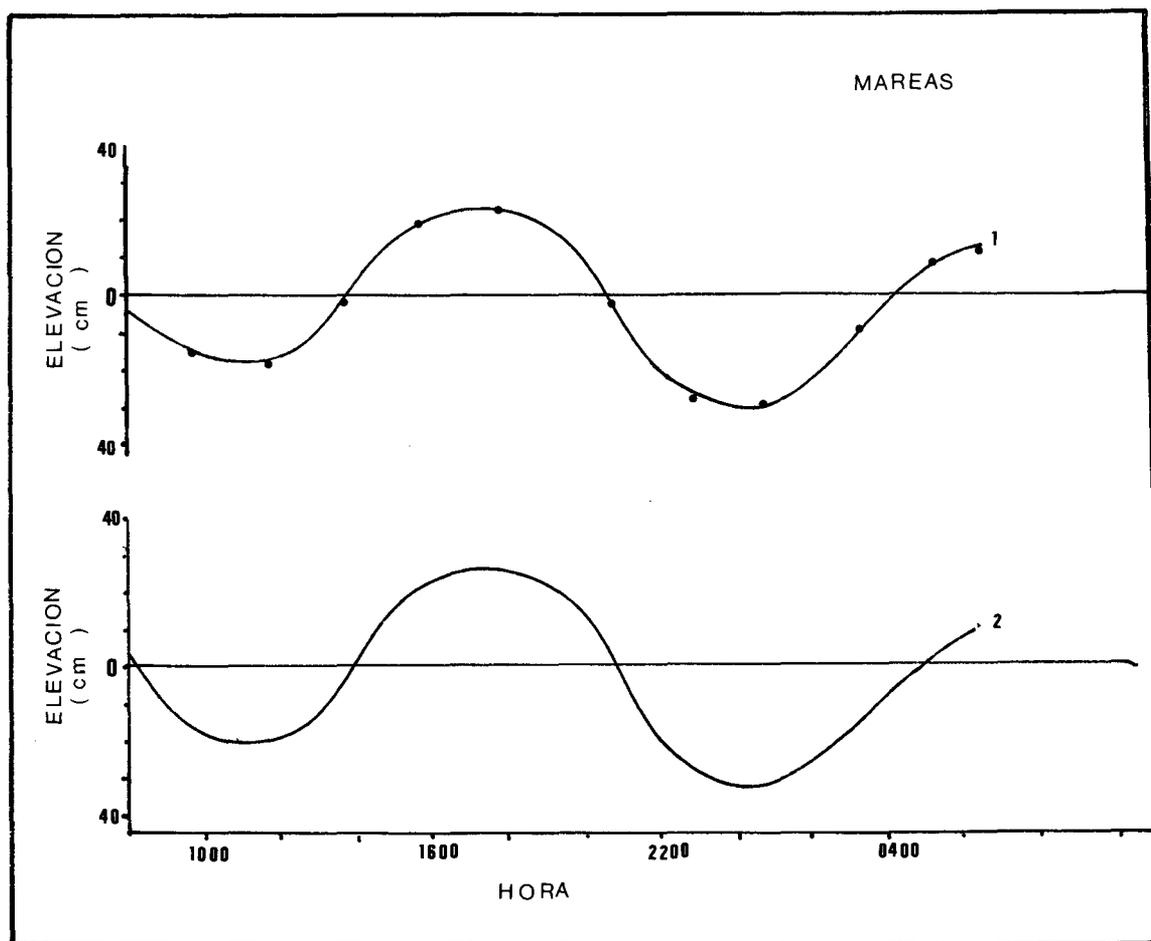


Fig. 7. Elevación de la marea en función del tiempo en el estero (1) y en el lado oceánico (2).

## CONCLUSIONES

La dinámica de las aguas del Estero de Urias básicamente está gobernada por la marea oceánica. Durante la pleamar el agua fluye al estero mientras que en la bajamar el flujo se invierte al descender el nivel de la marea en el océano. El patrón de circulación dentro del puerto es delineado esencialmente por la configuración y geometría del mismo. Las corrientes más rápidas con velocidades hasta de 60 cm/seg se encontraron en el canal de navegación. Las velocidades más bajas se registraron en el recinto del antepuerto.

El prisma de mareas, calculado hidráulicamente en relación a la mínima sección transversal del canal, fue  $P_H = 6.32 \times 10^6 \text{ m}^3$ . La resistencia friccional del canal o impedancia promediada para condiciones de flujo y reflujos de la marea fue  $F = 12.35$ . La descarga, estimada de una expresión analítica, a partir de una distribución de velocidades fue  $Q = 36 \text{ m}^3/\text{seg}$ . El coeficiente de fricción de

Darcy-Weisbach calculado fue  $f = 0.20$  y el número de Manning estimado fue  $n = 0.09$ .

El estudio preliminar del comportamiento hidráulico del vaso portuario generó resultados que aportan valores sobre las características hidráulicas del sistema para las condiciones específicas de un ciclo de mareas. Es recomendable realizar mediciones por períodos prolongados de tiempo para obtener empíricamente coeficientes hidráulicos constantes, utilizables en modelos predictivos de velocidades y elevaciones de mareas.

## AGRADECIMIENTOS

A Humberto Bojórquez Leyva por su participación en los trabajos de campo, a Sonia Elena Osuna Páez y a Margarita Cordero Ruiz por la mecanografía del estudio.

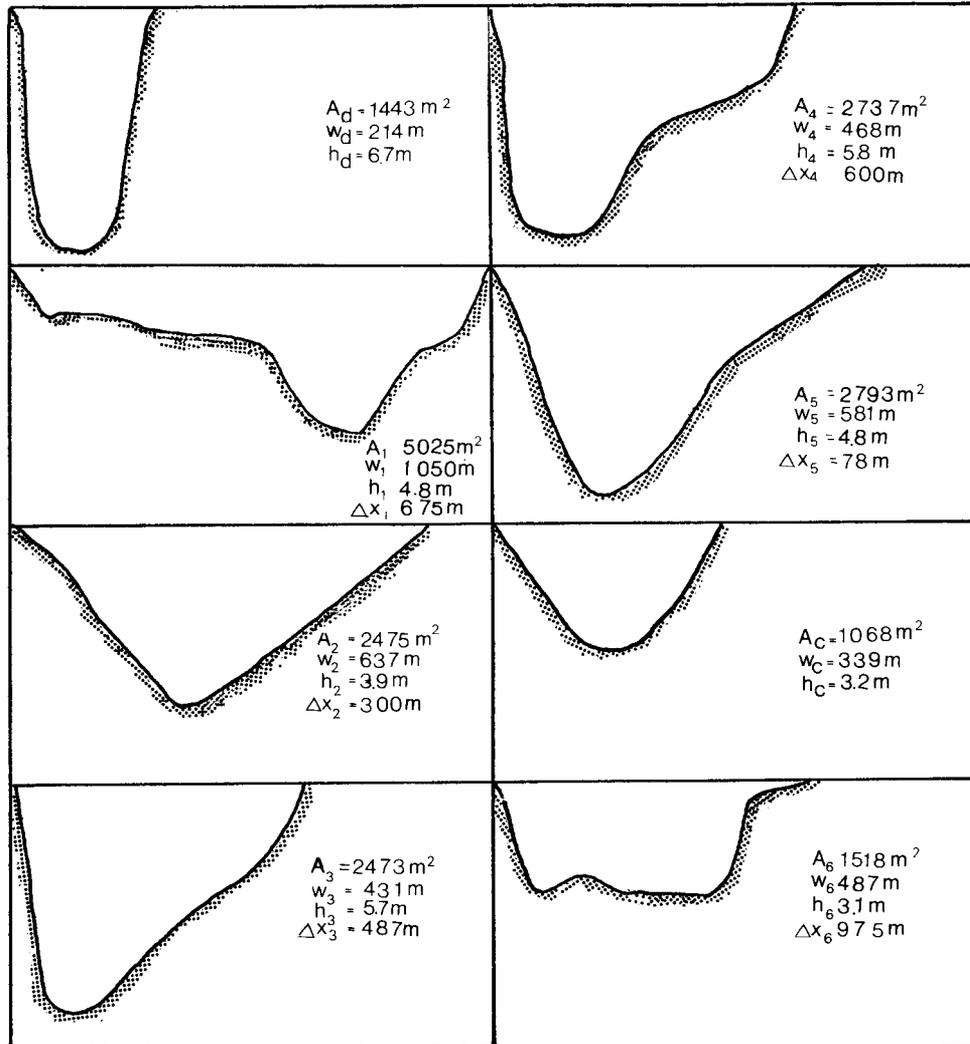


Fig. 8. Parámetros que describen las secciones transversales  $A_i$  = área,  $W_i$  = amplitud,  $x_i$  = longitud del sector,  $h_i$  = profundidad media ( $i = 1, 2 \dots 6$ )

### BIBLIOGRAFIA

- ALVAREZ, R., 1977. Estudio Hidrobiológico de los Esteros del Astillero, Urias y la Sirena, adyacentes a Mazatlán, Sinaloa, México. Tesis de Maestría en Ciencias del Mar, UACPy P-CCH, Centro Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, D. F. 131 pp.
- BROWN, E. I., 1928. Inlets on sandy coasts. Proceedings of the American Society of Civil Engineering 54, 505-553.
- DEAN, R. G., 1971. Hydraulics of Inlets. University of Florida (Unpublished), 35 pp.
- DRONKERS, J. J., 1964. Tidal computations in rivers and coastal waters. John Wiley & Sons, Inc., New York. 245 pp.
- GALLAGHER, B., 1973. Model for non-linear tides in small basins with openings of restricted depths., *J. of Geophys. Res.*, 78, 27, 6395-6401.
- KEULEGAN, G.H. and J.V. HALL, 1950. A formula for the calculation of tidal discharge through an Inlet, *Beach Erosion Board Bulletin*, 4, 15-29.

- KEULEGAN, G.H., 1967. Tidal flow in entrances: water level fluctuation of basins in communications with the seas, *Teach. Bull. No. 14*, Committee on tidal hydraulics, water way experiment Station, Vicksburg, Mississippi, 40pp.
- LEENDERTSE, J.J., 1967. Aspects of a computational model for long-period water-wave propagation, *Rand Memo R.M., P.R. Delft*, 5294-5305.
- MAYOR-MORA, R.E., 1973. Hydraulics of tidal inlets in sandy coast, *Hydraulic Engineering Laboratory, University of California Berkeley*, HEL, 16-24.
- METHA, A.J. and H.S. HOW, 1974. Hydraulic constant on tidal entrances II: Stability of Long Island Inlets, *Tech. Report No. 23*, Coastal and Oceanography Engineering Laboratory, University of Florida, 96 pp.
- METHA, A.J., R.J. BYRNE and J. DeALTERIS, 1975. Hydraulic constants of tidal entrances. III: Bed friction measurements at John's Pass and Blind Pass, *Tech. Report No. 26*, Coastal and Oceanographic Engineering Laboratory, University of Florida, 81 pp.
- METHA, A. J., E. A. HAYTER and B. A. CHRISTENSEN, 1977. A generalized point velocity method for discharge computation in tidal waterways. *Proceedings of Hydraulics in the Coastal Zone Conference*, ASCE, Texas A. and M. University, College Station, Texas, 261-268.
- METHA, A.J. and E. OZSOY, 1978. Flow dynamics and nearshore transport. In: Per Bruun (Ed.), *Stability of tidal inlets*, Elsevier Sci. Pub. Co. *Developments in Geotechnical Engineering*, Amsterdam, 23, 83-161.
- O'BRIEN, M.P. and R.R. CLARK, 1973. Hydraulic constants of tidal entrances I: Data from NOS Tide Tables, Current Tables and Navigation charts, *Tech Report No. 21*, Coastal and Oceanographic Engineering Laboratory, University of Florida, 88pp.
- PLATZMAN, G.W., 1972. Two-dimensional free oscillation in natural basins, *J. of Phys. Oceanogr.* 2, 2, 117-138.
- SECRETARIA DE MARINA, 1974. Estudio geográfico de la región de Mazatlán, Sinaloa, *Secretaría de Marina. Dirección General de Oceanografía y Señalamiento Marítimo*, México, 355 pp.
- SECRETARIA DE MARINA, 1988. Carta Náutica S.M. 368. Portulano de Mazatlán Esc. 1:7500. *Secretaría de Marina, Dirección General de Oceanografía y Señalamiento Marítimo*.
- SERVICIO MAREOGRAFICO NACIONAL, 1989. *Tablas de predicción de Mareas*, 1989. Puertos del Océano Pacífico, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México. 415 pp.
- VILLALBA, A., 1986. Descripción General del Estero de Urias, Mazatlán, Sinaloa, *Ciencias del Mar*, Universidad Autónoma de Sinaloa, 8E, 32-37.

---

Y. Montaña-Ley y F. Páez-Osuna  
*Estación Mazatlán, Instituto de Ciencias del Mar  
y Limnología, UNAM. Apdo. Postal 811  
Mazatlán 82000, Sinaloa, México.*