

## ESTUDIO

### CARACTERÍSTICAS MAREOGRÁFICAS EN MACHONA, TABASCO Y AGUA BRAVA, NAYARIT

HERMINIO CEPEDA G.\*

#### I. INTRODUCCIÓN

En el presente estudio para la medición de mareas se están utilizando cuatro mareógrafos del tipo analógico digital de la casa Fischer and Porter, modelo 35-1550DA10. Estos aparatos se instalaron en dos áreas distintas, una de ellas corresponde a la laguna Machona en el estado de Tabasco, la otra es la laguna Agua Brava en el estado de Nayarit. En la primera se colocaron sendos mareógrafos, en los sitios conocidos como Panteones, en la parte exterior como a 10 metros de la entrada del canal, el otro en la parte interior de la laguna Machona en el sitio conocido como Alacrán y está aproximadamente como a 500 metros del primero.

Los del área de Agua Brava se instalaron en el canal, uno de ellos como a 40 metros de la Boca y el otro en Balsas como a 2.500 metros del primero. Es necesario hacer notar que desde el punto de vista de las mareas, los sitios no son necesariamente los más adecuados, pero se están operando así en consideración a la petición presentada ante el Director General de Infraestructura por el personal del Instituto de Ingeniería.

Acompañando a los mareógrafos se ubicaron mareómetros o reglas de mareas y los Bancos de Nivel que como es sabido servirán más tarde para conservar los parámetros de mareas establecidos.

Los ceros de las reglas y los Bancos de Nivel están relacionados por medio de nivelación diferencial, corrida en ambos sentidos, lo cual permitirá tener un control sobre la altura del cero de la regla durante el periodo de observación, e incluso reponerla a la misma altura para el caso de reanudación de observaciones en periodos posteriores.

\* Jefe del Servicio Mareográfico Nacional. Instituto de Geofísica, UNAM.

## II. OBSERVACIÓN DE MAREAS

### a) Características Mareográficas.

De los registros de mareas obtenidos hasta diciembre de 1977, se han obtenido las siguientes características:

En el sistema de Machona el tipo de marea es diurno, esto significa que sólo ocurre una pleamar y una bajamar en la mayor parte del mes, pero ocurren dos pleamares y dos bajamares en las cuadraturas.

Los niveles mínimos se observan para el mes de mayo y los máximos para los meses de septiembre-octubre. La variación de estos niveles está dentro del rango de 35 centímetros, para la variación estacional del nivel medio del mar.

La amplitud media de la marea en el área de Panteones es de 35 centímetros, lo cual nos indica un amortiguamiento del 50% aproximadamente.

El nivel medio de la laguna en Alacrán, muestra una variación del orden de 40 centímetros, lo cual se explica si consideramos que la laguna se ve afectada en los meses de lluvia.

En el sistema de Agua Brava, el tipo de mareas es mixto, esto significa que ocurren dos pleamares y dos bajamares en un periodo de 24 horas. Presenta desigualdad diurna tanto en las pleamares como en las bajamares, sus valores promedios son de 10 centímetros para las pleamares y 17 centímetros para las bajamares, la amplitud media es 86 centímetros.

Los niveles mínimos se observan en el mes de marzo y los máximos en el mes de septiembre, pero con ligeras diferencias también son máximos los meses de julio y agosto. La variación de estos niveles está dentro del rango de 30 centímetros para el nivel medio del mar.

La amplitud media en Palmar de Cuautla (Boca) es de 86 centímetros, para Palmar de Cuautla (Balsas) es de 33 centímetros, lo cual nos indica que el amortiguamiento es de 60% aproximadamente.

En base a la hora de ocurrencia de las mareas se puede decir que la velocidad media es de 0.73 m/seg para el flujo y de 1.34 m/seg para reflujo en el área del canal de Agua Brava.

Para el área de Machona, la velocidad media es de 1.07 m/seg para el flujo y de 1.22 m/seg para el reflujo.

### b) Parámetros de Mareas.

## PANTEONES

## ALACRÁN

## ENERO 77

|               | metros |               | metros |
|---------------|--------|---------------|--------|
| Pleamar media | 5.21   | Pleamar media | 5.06   |
| Nivel medio   | 5.03   | Nivel medio   | 4.98   |
| Bajamar media | 4.85   | Bajamar media | 4.90   |

## FEBRERO 77

|               | metros |               | metros |
|---------------|--------|---------------|--------|
| Pleamar media | 5.16   | Pleamar media | 5.01   |
| Nivel medio   | 4.98   | Nivel medio   | 4.93   |
| Bajamar media | 4.80   | Bajamar media | 4.85   |

## MARZO 77

|               | metros |               | metros |
|---------------|--------|---------------|--------|
| Pleamar media | 5.16   | Pleamar media | 5.00   |
| Nivel medio   | 4.98   | Nivel medio   | 4.92   |
| Bajamar media | 4.81   | Bajamar media | 4.84   |

## ABRIL 77

|               | metros |               | metros |
|---------------|--------|---------------|--------|
| Pleamar media | 5.15   | Pleamar media | 5.01   |
| Nivel medio   | 4.97   | Nivel medio   | 4.93   |
| Bajamar media | 4.79   | Bajamar media | 4.85   |

## MAYO 77

|               | metros |               | metros |
|---------------|--------|---------------|--------|
| Pleamar media | 5.14   | Pleamar media | 4.99   |
| Nivel medio   | 4.95   | Nivel medio   | 4.91   |
| Bajamar media | 4.76   | Bajamar media | 4.84   |

## PANTEONES

## ALACRÁN

## JUNIO 77

|               | metros |               | metros |
|---------------|--------|---------------|--------|
| Pleamar media | 5.16   | Pleamar media | 5.01   |
| Nivel medio   | 4.97   | Nivel medio   | 4.93   |
| Bajamar media | 4.78   | Bajamar media | 4.85   |

## JULIO 77

|               | metros |               | metros |
|---------------|--------|---------------|--------|
| Pleamar media | 5.31   | Pleamar media | 5.17   |
| Nivel medio   | 5.13   | Nivel medio   | 5.09   |
| Bajamar media | 4.95   | Bajamar media | 5.01   |

## AGOSTO 77

|               | metros |               | metros |
|---------------|--------|---------------|--------|
| Pleamar media | 5.27   | Pleamar media | 5.13   |
| Nivel medio   | 5.09   | Nivel medio   | 5.06   |
| Bajamar media | 4.91   | Bajamar media | 4.97   |

## SEPTIEMBRE 77

|               | metros |               | metros |
|---------------|--------|---------------|--------|
| Pleamar media | 5.47   | Pleamar media | 5.34   |
| Nivel medio   | 5.29   | Nivel medio   | 5.25   |
| Bajamar media | 5.02   | Bajamar media | 5.17   |

## OCTUBRE 77

|               | metros |               | metros |
|---------------|--------|---------------|--------|
| Pleamar media | 5.47   | Pleamar media | 5.37   |
| Nivel medio   | 5.29   | Nivel medio   | 5.29   |
| Bajamar media | 5.02   | Bajamar media | 5.21   |

## PANTEONES

## ALACRÁN

## NOVIEMBRE 77

|               | metros |               | metros |
|---------------|--------|---------------|--------|
| Pleamar media | 5.36   | Pleamar media | 5.23   |
| Nivel medio   | 5.18   | Nivel medio   | 5.15   |
| Bajamar media | 5.00   | Bajamar media | 5.07   |

## DICIEMBRE 77

|               | metros |               | metros |
|---------------|--------|---------------|--------|
| Pleamar media | 5.26   | Pleamar media | 5.13   |
| Nivel medio   | 5.08   | Nivel medio   | 5.05   |
| Bajamar media | 4.90   | Bajamar media | 4.97   |

PALMAR DE CUAUTLA  
(BOCA)PALMAR DE CUAUTLA  
(BALSAS)

## ENERO 77

|                  | metros |                  | metros |
|------------------|--------|------------------|--------|
| Pleamar superior | 5.58   | Pleamar superior | 5.12   |
| Pleamar media    | 5.49   | Pleamar media    | 5.07   |
| Nivel medio      | 5.02   | Nivel medio      | 4.90   |
| Bajamar media    | 4.57   | Bajamar media    | 4.73   |
| Bajamar inferior | 4.39   | Bajamar inferior | 4.67   |

## FEBRERO 77

|                  | metros |                  | metros |
|------------------|--------|------------------|--------|
| Pleamar superior | 5.54   | Pleamar superior | 5.08   |
| Pleamar media    | 5.43   | Pleamar media    | 5.03   |
| Nivel medio      | 4.98   | Nivel medio      | 4.86   |
| Bajamar media    | 4.53   | Bajamar media    | 4.69   |
| Bajamar inferior | 4.36   | Bajamar inferior | 4.63   |

PALMAR DE CUAUTLA  
(BOCA)

PALMAR DE CUAUTLA  
(BALSAS)

## MARZO 77

|                  | metros |                  | metros |
|------------------|--------|------------------|--------|
| Pleamar superior | 5.49   | Pleamar superior | 5.04   |
| Pleamar media    | 5.39   | Pleamar media    | 4.91   |
| Nivel medio      | 4.94   | Nivel medio      | 4.82   |
| Bajamar media    | 4.49   | Bajamar media    | 4.65   |
| Bajamar inferior | 4.31   | Bajamar inferior | 4.59   |

## ABRIL 77

|                  |      |                  |      |
|------------------|------|------------------|------|
| Pleamar superior | 5.51 | Pleamar superior | 5.06 |
| Pleamar media    | 5.41 | Pleamar media    | 5.01 |
| Nivel medio      | 4.96 | Nivel medio      | 4.84 |
| Bajamar media    | 4.53 | Bajamar media    | 4.67 |
| Bajamar inferior | 4.35 | Bajamar inferior | 4.61 |

## MAYO 77

|                  | metros |                  | metros |
|------------------|--------|------------------|--------|
| Pleamar superior | 5.59   | Pleamar superior | 5.14   |
| Pleamar media    | 5.49   | Pleamar media    | 5.09   |
| Nivel medio      | 5.04   | Nivel medio      | 4.92   |
| Bajamar media    | 4.61   | Bajamar media    | 4.75   |
| Bajamar inferior | 4.43   | Bajamar inferior | 4.69   |

## JUNIO 77

|                  |      |                  |      |
|------------------|------|------------------|------|
| Pleamar superior | 5.68 | Pleamar superior | 5.22 |
| Pleamar media    | 5.58 | Pleamar media    | 5.17 |
| Nivel medio      | 5.13 | Nivel medio      | 5.01 |
| Bajamar media    | 4.72 | Bajamar media    | 4.84 |
| Bajamar inferior | 4.54 | Bajamar inferior | 4.78 |

PALMAR DE CUAUTLA  
(BOCA)PALMAR DE CUAUTLA  
(BALSAS)

## JULIO 77

|                  | metros |                  | metros |
|------------------|--------|------------------|--------|
| Pleamar superior | 4.72   | Pleamar superior | 5.30   |
| Pleamar media    | 4.63   | Pleamar media    | 5.25   |
| Nivel medio      | 5.22   | Nivel medio      | 5.10   |
| Bajamar media    | 4.82   | Bajamar media    | 4.95   |
| Bajamar inferior | 4.64   | Bajamar inferior | 4.89   |

## AGOSTO 77

|                  | metros |                  | metros |
|------------------|--------|------------------|--------|
| Pleamar superior | 5.74   | Pleamar superior | 5.31   |
| Pleamar media    | 5.65   | Pleamar media    | 5.26   |
| Nivel medio      | 5.23   | Nivel medio      | 5.11   |
| Bajamar media    | 4.83   | Bajamar media    | 4.96   |
| Bajamar inferior | 4.65   | Bajamar inferior | 4.90   |

## SEPTIEMBRE 77

|                  | metros |                  | metros |
|------------------|--------|------------------|--------|
| Pleamar superior | 5.751  | Pleamar superior | 5.32   |
| Pleamar media    | 5.66   | Pleamar media    | 5.27   |
| Nivel medio      | 5.24   | Nivel medio      | 5.12   |
| Bajamar media    | 4.84   | Bajamar media    | 4.97   |
| Bajamar inferior | 4.67   | Bajamar inferior | 4.91   |

## OCTUBRE 77

|                  | metros |                  | metros |
|------------------|--------|------------------|--------|
| Pleamar superior | 5.67   | Pleamar superior | 5.23   |
| Pleamar media    | 5.58   | Pleamar media    | 5.18   |
| Nivel medio      | 5.14   | Nivel medio      | 5.02   |
| Bajamar media    | 4.72   | Bajamar media    | 4.85   |
| Bajamar inferior | 4.54   | Bajamar inferior | 4.79   |

PALMAR DE CUAUTLA  
(BOCA)

PALMAR DE CUAUTLA  
(BALSAS)

NOVIEMBRE 77

|                  | metros |                  | metros |
|------------------|--------|------------------|--------|
| Pleamar superior | 5.60   | Pleamar superior | 5.17   |
| Pleamar media    | 5.49   | Pleamar media    | 5.08   |
| Nivel medio      | 5.06   | Nivel medio      | 4.94   |
| Bajamar media    | 4.65   | Bajamar media    | 4.75   |
| Bajamar inferior | 4.49   | Bajamar inferior | 4.70   |

DICIEMBRE 77

|                  | metros |                  | metros |
|------------------|--------|------------------|--------|
| Pleamar superior | 5.57   | Pleamar superior | 5.11   |
| Pleamar media    | 5.45   | Pleamar media    | 5.06   |
| Nivel medio      | 5.02   | Nivel medio      | 4.89   |
| Bajamar media    | 4.62   | Bajamar media    | 4.72   |
| Bajamar inferior | 4.43   | Bajamar inferior | 4.66   |

c) Nivelaciones referidas al cero de la regla.

*PANTEONES, TAB.*

Elevación de (a) sobre el cero de la regla 6.4011 m

|     | 1a. Línea | 2a. Línea | Prom.      |
|-----|-----------|-----------|------------|
| a-1 | + 0.878 m | - 0.875 m | + 0.8765 m |
| l-2 | - 0.556 m | + 0.555 m | - 0.5555 m |

Elevación sobre el cero de la regla

|        | BNS | COTA     |
|--------|-----|----------|
| BN - 1 |     | 7.2875 m |
| BN - 2 |     | 6.7320 m |

*ALACRÁN, TAB.*

Elevación de (a) sobre el cero de la regla 6.401 m

|     | 1a. Línea | 2a. Línea | Prom.     |
|-----|-----------|-----------|-----------|
| a-1 | - 0.112   | + 0.110   | - 0.111 m |

Elevación sobre el cero de la regla

| BNS    | COTA    |
|--------|---------|
| BN - 1 | 6.290 m |

*PALMAR DE CUAUTLA, NAY. (BOCA)*

Elevación de (a) sobre el cero de la regla 6.401 m

|     | 1a. Línea | 2a. Línea | Prom.      |
|-----|-----------|-----------|------------|
| a-1 | + 0.609 m | - 0.610 m | + 0.6095 m |
| 1-2 | + 0.190 m | - 0.190 m | + 0.190 m  |

Elevación sobre el cero de la regla

| BNS    | COTA     |
|--------|----------|
| BN - 1 | 7.0095 m |
| BN - 2 | 7.1995 m |

*PALMAR DE CUAUTLA, NAY. (BALSAS)*

Elevación de (a) sobre el cero de la regla 5.486 m

|     | 1a. Línea | 2a. Línea | Prom.     |
|-----|-----------|-----------|-----------|
| a-1 | + 0.517   | - 0.517   | + 0.517 m |

Elevación sobre el cero de la regla

|        |         |
|--------|---------|
| BNS    | COTA    |
| BN - 1 | 6.003 m |

### III. ANÁLISIS HIDRÁULICO CANAL DE INTERCONEXIÓN DE AGUA BRAVA

Se utilizan los datos que se han obtenido en ambos extremos considerándolos para valores medios.

Se procede aplicando la fórmula de Manning.

$$Q = \frac{1}{M} AH^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

en donde

$$M = 0.03$$

$$H = 2.50 \text{ m}$$

$$A = (b + mH) H = (40 + 3 \times 2.50) 2.50 = 118.75 \text{ m}^2$$

$$S = \frac{Ah}{L} = \frac{0.58 - 0.33}{2.500} = \frac{0.25}{2.500} =$$

$$S = 0.0001$$

Substituyendo valores

$$Q = \frac{A}{M} H^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} = \frac{118.75}{0.03} \times 2.50^{\frac{2}{3}} (0.0001)^{\frac{1}{2}}$$

$$Q = 71.568 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

La velocidad media dentro del canal será:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{71.568}{118.75} = 0.603 \text{ m/seg.}$$

Esta velocidad determinada, desde luego que no erosiona el canal, es sabido que para arenas medias 0.25 a 1.00 mm, la velocidad admisible es de 0.60 a 0.75 m/seg.

Ahora bien, tomemos el mes de diciembre en particular y trabajemos con los valores de pleamar media y bajamar media, tendremos para el caso del reflujo; el nivel del agua marina está a  $-0.46$  m por debajo del nivel medio y de  $+0.13$  m para el interior de la laguna.

$$S = \frac{Ah}{L} = \frac{0.59}{2.500} = 0.000236$$

Substituyendo en la fórmula de Mannig

$$Q = \frac{A}{M} = H^{\frac{3}{2}} S^{\frac{1}{2}} = \frac{118.75}{0.03} = (2.50)^{\frac{3}{2}} (0.000236)^{\frac{1}{2}}$$

$$Q = 114.54 \text{ m/seg.}$$

La velocidad media será

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{114.54}{118.75} = 0.96 \text{ m/seg.}$$

Esta velocidad sí erosiona el fondo y los márgenes del canal.

A mayor abundamiento, las velocidades para los casos de las sisigias deberán estar por encima de estos valores por ser mayores las diferencias de niveles.

Los valores que muestran los registros de mareas son superiores al metro por segundo en el reflujo para las dos áreas, lo cual nos está significando que el canal se autodraga, la condición de equilibrio se presentará cuando el canal sea lo suficiente ancho, lo cual permitirá una velocidad dentro de los límites de no erosión.

#### CONCLUSIÓN

Los canales en ambas áreas se han ampliado por presentar velocidades superiores a las permisibles.