

**LIBRO:** PRY. PROYECTO  
**TEMA:** PUE. Puertos  
**PARTE:** 1. ESTUDIOS  
**TÍTULO:** 04. Estudios de Mareas  
**CAPÍTULO:** 002. Recopilación y Análisis de Información

**A. CONTENIDO**

Este Manual contiene los procedimientos para efectuar la recopilación y análisis de información a que se refiere la Norma N·PRY·PUE·1·04·001, *Ejecución de Estudios de Mareas*, que realice la Secretaría con recursos propios o mediante un Contratista de Servicios.

**B. DEFINICIÓN**

La recopilación de información de mareas astronómica o de tormenta es el procedimiento mediante el cual se reúne la información de las variaciones del nivel del mar, producidas por las fuerzas de atracción del Sol, la Luna y la Tierra, así como de las sobreelevaciones del nivel del mar originadas por perturbaciones meteorológicas que originen las mareas de tormenta.

El análisis de la información recopilada implica el procedimiento que se lleva a cabo para determinar las características de la marea astronómica (tipo de marea, niveles horarios del mar, constantes armónicas de las componentes de marea) y/o de tormenta (sobreelevación del nivel del mar ocurrida durante la acción de la tormenta, así como las sobreelevaciones mínimas, medias y máximas del mar del sitio de estudio).

**C. REFERENCIAS**

Son referencias de este Manual, las *Tablas de Predicción de Mareas* y los *Calendarios Gráficos de Mareas para los Puertos del Océano Pacífico, Golfo de México y Mar Caribe*, editados por el Instituto de Geofísica de la UNAM, la Secretaría de Marina y el Fondo Nacional de Turismo de la Secretaría de Turismo.

Además, este Manual se complementa con las siguientes:

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN
Estudios Topográficos y Batimétricos .....	N·PRY·PUE·1·01·001
Ejecución de Estudios de Mareas .....	N·PRY·PUE·1·04·001
Medición de Niveles del Mar .....	M·PRY·PUE·1·04·003
Predicción de la Marea Astronómica .....	M·PRY·PUE·1·04·004
Predicción de la Marea Meteorológica .....	M·PRY·PUE·1·04·005

## D. EJECUCIÓN

### D.1. MAREA ASTRONÓMICA

#### D.1.1. Recopilación de información de mareas

Una vez definido el sitio del estudio, se procederá a la recopilación de toda la información sobre las características de la marea astronómica (tipo de marea, niveles horarios del mar, componentes armónicas y ángulos de fase), que sea posible obtener de estudios previos realizados para el sitio en cuestión, y de las *Tablas de Predicción de Mareas* y los *Calendarios Gráficos de Mareas para los Puertos del Océano Pacífico, Golfo de México y Mar Caribe*, editados por el Instituto de Geofísica de la UNAM, la Secretaría de Marina y el Fondo Nacional de Turismo.

#### D.1.2. Mediciones en campo

Las mediciones de campo se realizarán mediante los procedimientos señalados en la Cláusula D. del Manual M-PRY-PUE-1-04-003, *Medición de Niveles del Mar*, y servirán para verificar la información recopilada, así como para complementar toda la información necesaria para el análisis y la definición de las características de las mareas en el sitio del estudio.

Para la determinación de las coordenadas geográficas y/o coordenadas UTM del sitio de estudio, el Ingeniero o el Contratista de Servicios podrá situarse sobre uno de los vértices geodésicos que están distribuidos en toda la República Mexicana, conocidos como *estaciones GPS* y que están materializados sobre el terreno con una placa empotrada que identifica al punto, y efectuar sus mediciones de campo, para lo cual introducirán las coordenadas del vértice *GPS*, como referencia o punto de partida con el fin de generar las coordenadas de los nuevos puntos de interés en la zona de estudio.

Las estaciones *GPS* corresponden a la Red Geodésica Nacional Pasiva (RGNP), cuyas coordenadas han sido generadas a partir de levantamientos utilizando el Sistema de Posicionamiento Global y están ligadas a la Red Geodésica Nacional Activa (RGNA). El Ingeniero o el Contratista de Servicios consultará dicha información en el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), para el desarrollo de los trabajos.

Para efectos de las mediciones en campo, los niveles de referencia para condiciones en el Golfo de México y Mar Caribe, así como para el Océano Pacífico, serán los indicados en el Manual M-PRY-PUE-1-04-003, *Medición de Niveles del Mar*.

#### D.1.3. Procesamiento de la información sobre los niveles del mar

##### D.1.3.1. Banco de Nivel y Sistema Coordinado

La información recopilada y las mediciones de campo de los niveles del mar, estarán referenciadas a la elevación del banco de nivel más cercano a la zona de estudio.

Se definirá el sistema coordinado de la zona de estudio conforme a lo establecido en el Inciso D.1.2., apoyándose en los estudios topográficos a los que se refiere la Norma N-PRY-PUE-1-01-001, *Estudios Topográficos y Batimétricos*, necesarios para referenciar los niveles del mar a planos previamente establecidos

##### D.1.3.2. Análisis armónico de la marea

El análisis armónico de la marea es el proceso por el cual los niveles del mar, obtenidos de las mediciones en campo, son separados en términos llamados componentes de marea, los cuales se indican y definen en la Tabla 1.

**TABLA 1.- Componentes de marea y su causa**

Número	Símbolo de componente de marea	Causa de la componente de marea
1	$S_a$	Componente solar anual
2	$S_{Sa}$	Componente solar semi-anual
3	$M_m$	Componente lunar mensual
4	$M_{Sf}$	Componente luna/sol sinódica quincenal
5	$M_f$	Componente luna/sol quincenal
6	$Q_1$	Componente lunar elíptica mayor diurna
7	$O_1$	Componente lunar diurna
8	$M_1$	Componente lunar elíptica menor diurna
9	$TK_1$	Componente diurna
10	$P_1$	Componente diurna solar
11	$K_1$	Componente diurna luna/sol
12	$J_1$	Componente lunar elíptica menor diurna
13	$2N_2$	Componente lunar elíptica semidiurna segundo orden
14	$u_2$	Componente de variación
15	$N_2$	Componente lunar elíptica mayor semidiurna
16	$v_2$	Componente lunar mayor
17	$M_2$	Componente semidiurna lunar
18	$L_2$	Componente lunar elíptica menor semidiurna
19	$T_2$	Componente solar elíptica mayor semidiurna
20	$S_2$	Componente semidiurna solar
21	$K_2$	Componente semidiurna luna/sol
22	$M_3$	Componente lunar tercio diurna
23	$M_4$	Componente lunar cuarto en aguas poco profundas
24	$MS_4$	Componente cuarto diurna en aguas poco profundas
25	$M_6$	Componente lunar sexta en aguas poco profundas
26	$2MS_6$	Componente sexta diurna lunar en aguas poco profundas
27	$2SM_6$	Componente sexta diurna solar en aguas poco profundas
28	$M_8$	Componente lunar en aguas poco profundas

La interpretación gráfica de estos componentes de marea se indica en la Figura 1.

Cada uno de estos componentes de marea, para un cierto lugar e intervalo de tiempo, se caracteriza por tres factores:

- a) La amplitud  $A_i$ , es la diferencia en altura entre el más alto o más bajo nivel y el nivel promedio o nivel de referencia, en metros.
- b) El período  $t$ , es el tiempo en horas requerido para que ocurra una componente de marea en un ciclo completo de marea, como se muestra en la Figura 2.
- c) Ángulo de fase  $K_i$ , es decir la fase de retraso o época de la componente  $i$  en el intervalo entre el nivel de marea al inicio de la predicción y la siguiente pleamar, en grados, como se muestra en la Figura 3.

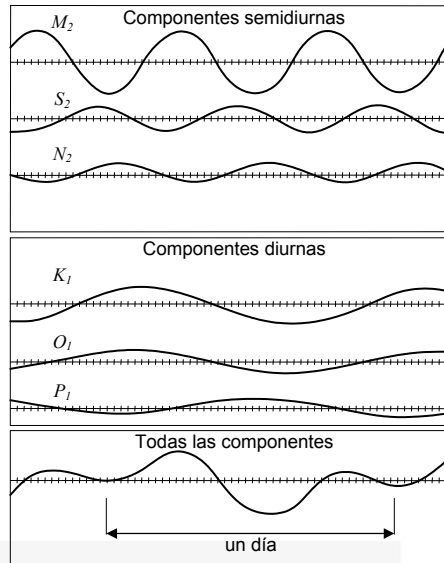


FIGURA 1.- Interpretación gráfica de componentes de marea

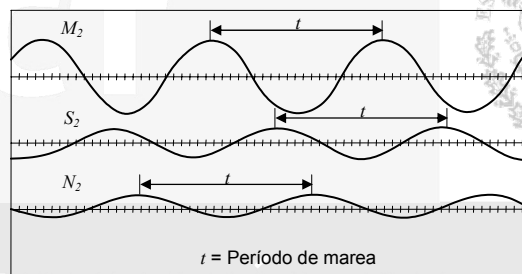


FIGURA 2.- Período de componente de marea

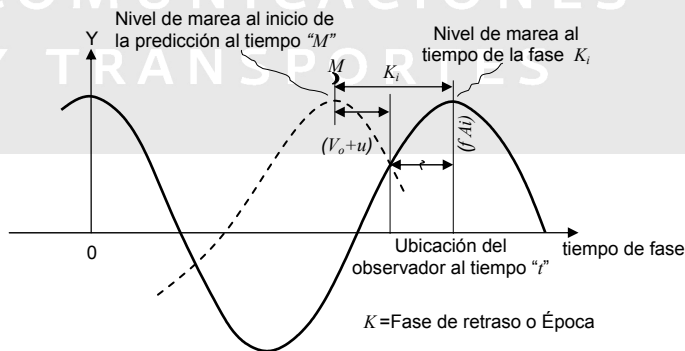


FIGURA 3.- Fase de retraso o época  $K$ , donde  $f$  es el factor nodal adimensional para ajustar la amplitud de marea  $A_i$  y  $(V_0+u)$  es el argumento de equilibrio de la componente de marea en grados

La variación del nivel del mar para un sitio específico, se expresa como una suma de varios componentes de marea y se representa por medio de la siguiente expresión:

$$\eta(t) = \sum_{i=1}^N A_i \cos(\alpha_i t - K_i)$$

Donde:

- $\eta(t)$  = Nivel del mar en el tiempo  $t$ , (m)
- $t$  = Período de cada componente de marea, (horas)
- $A_i$  = Amplitud del  $i$ ésimo componente de marea, (m)
- $\alpha_i$  = Velocidad del  $i$ ésimo componente de marea, (grados/hora)
- $K_i$  = Ángulo de fase del  $i$ ésimo componente de marea, (grados)
- $N$  = Número total de componentes de marea, (adimensional)

Los valores de la velocidad  $\alpha_i$  y del período  $t$  en que ocurre una componente de marea, indicados en la Tabla 2, son los mismos para cualquier lugar del mundo.

Las amplitudes  $A_i$  y los ángulos de fase  $K_i$  se llaman constantes armónicas de la marea astronómica y sus valores son únicos para cada sitio de estudio en particular.

**TABLA 2.- Principales componentes de marea**

Símbolo de la componente de marea	Causa de la componente de marea	Velocidad de la componente de marea $\alpha_i$ grados/hora	Periodo de la componente de marea $t$ horas
$M_2$	Marea semidiurna lunar	28,98	12,42
$S_2$	Marea semidiurna solar	30,00	12,00
$N_2$	Marea semidiurna debido a la Elíptica mayor lunar	28,44	12,66
$K_2$	Marea semidiurna luna/sol	30,08	11,97
$K_1$	Marea diurna luna/sol	15,04	23,94
$O_1$	Marea diurna lunar	13,94	25,83
$P_1$	Marea diurna solar	14,96	24,06

**D.1.3.3. Análisis armónico de datos de niveles del mar**

Las constantes armónicas  $A_i$  y  $K_i$ , señaladas en el Párrafo anterior, se obtienen para cada sitio de estudio a partir de observaciones de campo (mediciones de los niveles del mar) usando la técnica de análisis armónico.

Para el análisis armónico de la marea, se recomienda contar con tiempos mínimos de medición de los niveles del mar como se indica en la Fracción D.4. del Manual M-PRY-PUE-1-04-004, *Predicción de la Marea Astronómica*. El análisis armónico consiste en determinar las constantes armónicas para cada una de las componentes de la marea astronómica mediante *Series de Fourier* o por el método de mínimos cuadrados, como se indica en la Cláusula E. del Manual arriba señalado.

**D.1.3.4. Tiempo y periodo de registro de datos de los niveles del mar para realizar el análisis armónico**

Para realizar de forma preliminar el cálculo de las constantes armónicas de la marea astronómica mediante la técnica de análisis armónico, se requiere contar con datos de los niveles del mar medidos con espaciamento de 1 h en el tiempo. Y de forma más aproximada, es conveniente contar con información horaria de los niveles del mar en

períodos de medición de 1 ó más años, ya que cuanto más largo sea el periodo de registro, más precisos serán los coeficientes que se determinen como se señala en el Párrafo anterior.

**D.1.3.5. Caracterización del tipo de marea astronómica mediante las pleamares y bajamares**

La caracterización del tipo de marea se relaciona fundamentalmente con el período de ocurrencia de los niveles altos (pleamares) y de los niveles bajos del mar (bajamares), definiéndose en general los siguientes tipos de la marea astronómica:

- a) Marea diurna, se presenta una pleamar y una bajamar por ciclo en un período de 24 h y 50 min (valor promedio).

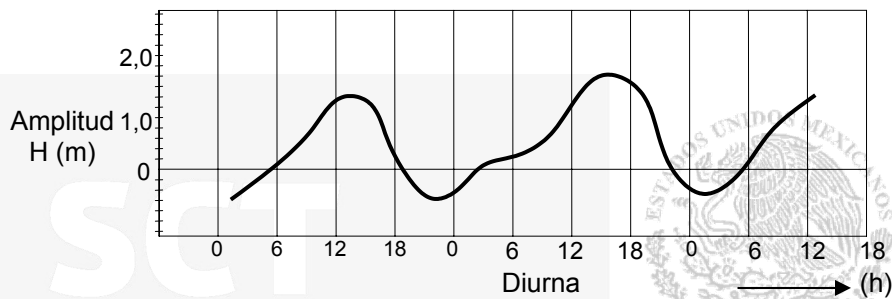


FIGURA 4.- Marea diurna

- b) Marea semidiurna, se presentan dos pleamares y dos bajamares durante dos ciclos sucesivos, con período de 12 h y 25 min cada uno (valor promedio); las amplitudes de ambas son sensiblemente semejantes.

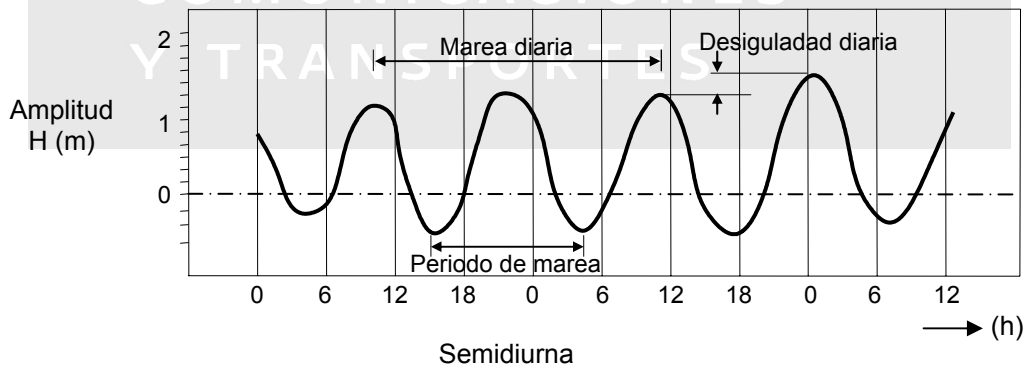


FIGURA 5.- Marea semidiurna

- c) Marea mixta, se presentan dos pleamares y dos bajamares durante dos ciclos sucesivos, con período de 12 h y 25 min cada uno (valor promedio); las amplitudes de ambas presentan diferencias notorias.

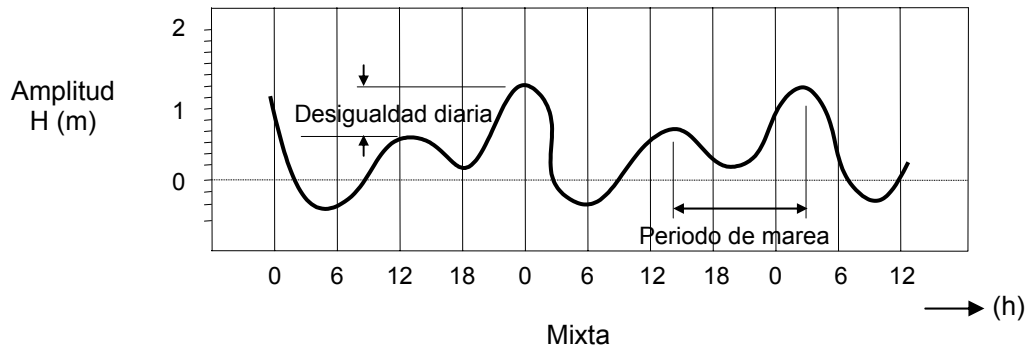


FIGURA 6.- Marea mixta

**D.1.3.6. Caracterización del tipo de marea astronómica mediante las componentes de marea**

La caracterización del tipo de marea utilizando las amplitudes de las constantes armónicas calculadas conforme a lo descrito en el Párrafo D.1.3.2. de este Manual, se realiza tomando como base las componentes de marea diurnas ( $K_1$  y  $O_1$ ) y semidiurnas ( $M_2$  y  $S_2$ ), y se expresa como sigue:

$$R = \frac{A(K_1) + A(O_1)}{A(M_2) + A(S_2)}$$

Donde  $A(K_1)$ ,  $A(O_1)$ ,  $A(M_2)$  y  $A(S_2)$  representan las amplitudes de las componentes de marea  $K_1$ ,  $O_1$ ,  $M_2$  y  $S_2$ , respectivamente, y que tienen el significado de la Tabla 2 en la columna *Causa de la componente*.

El tipo de marea representativa del sitio de estudio, se deriva de acuerdo con el valor resultante de la ecuación anterior, como sigue:

- si  $R > 1,50$  el tipo de marea es diurna,
- si  $R < 0,25$  el tipo de marea es semidiurna,
- si  $0,25 \leq R \leq 1,50$  el tipo de marea es mixta.

**D.2. MAREA METEOROLÓGICA O DE TORMENTA**

La marea meteorológica o de tormenta es el aumento o disminución del nivel del agua respecto al plano horizontal de referencia, debido a la acción de la fuerza del viento ciclónico o huracanado y a los cambios de la presión atmosférica. En el caso del aumento de la marea, el viento sopla contra la costa considerada y en caso de disminución de la marea, el viento sopla en la dirección opuesta, de tierra hacia el mar.

**D.2.1. Recopilación de información**

Se requiere determinar la longitud y latitud de la zona de estudio y recopilar la información de los huracanes o ciclones ocurridos en dicha zona, como trayectorias ciclónicas, mapas de superficie o cartas isobáricas, información de campos de viento y velocidades de desplazamiento de los ciclones y/o tormentas tropicales, misma que puede ser obtenida en el Servicio Meteorológico Nacional o en algunas otras fuentes de consulta Internacional.

La información ciclónica que se recopile será la mayor posible con la que cuente el Servicio Meteorológico Nacional o fuente internacional en el momento de la consulta y se utilizará para determinar la sobre-elevación del nivel del mar debida a la marea meteorológica o de

tormenta, con los métodos descritos en el Manual M·PRY·PUE·1·04·005, *Predicción de la Marea Meteorológica*.

Se recopilará también la información de los niveles del mar que se haya obtenido en campo, como se indica en el Inciso D.1.2. de este Manual.

## **E. BIBLIOGRAFÍA**

US Army Coastal Engineering Research Center, *Shore Protection Manual*, Vol. 1, Department of the Army Corps of Engineers. EEUU (1977)

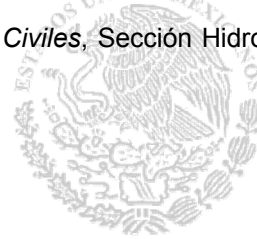
US Army Corps of Engineers, *Water Levels and Wave Heights for Coastal Engineering Design*, Engineer Manual, No. 1110-2-1414, EEUU (1989)

Sánchez Bribiesca, J. L., *Manual de Hidráulica Marítima Elemental*, Comisión Federal de Electricidad, México (1987)

Frías V., A. y Moreno C., G., *Ingeniería de Costas*, México (1988)

Shou Liu y Meter Frigaard, *Generation and Analysis of Random Waves*, Denmark (2001)

Comisión Federal de Electricidad, *Manual de Diseño de Obras Civiles*, Sección Hidrotecnia A.2.13., Hidráulica Marítima, México (1983)



**SECRETARÍA DE  
COMUNICACIONES  
Y TRANSPORTES**