



UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ciencias Exactas y Naturales
Departamento de Física

Mareas y Corrientes

Autor: Natalia Hinostroza Moya
Profesor: Carlos Lizárraga Celaya

14 de marzo de 2017

Resumen

En el siguiente reporte presentamos los resultados obtenidos para la actividad 5 de la clase de computacional. En esta se nos pide realizar una síntesis acerca de las mareas. También comenzaremos a trabajar con datos obtenidos en sondeos de mareas de distintas locaciones que presenta el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), y el National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Los lugares de los que se obtuvieron los datos presentados en esta actividad son de Mazatlán, Sinaloa, y de San Diego, California.

Los enlaces de las páginas web de las que se descargaron los datos aparecen al final de dicho reporte, en la bibliografía.

1. Introducción

En actividades pasadas estudiamos los cambios atmosféricos y a qué se debían. Esta vez, de manera parecida a las actividades que ya hemos hecho anteriormente, estudiaremos a profundidad qué son las corrientes marinas y las mareas. Para ello realizaremos la síntesis del artículo [Mareas de la Wikipedia](#).

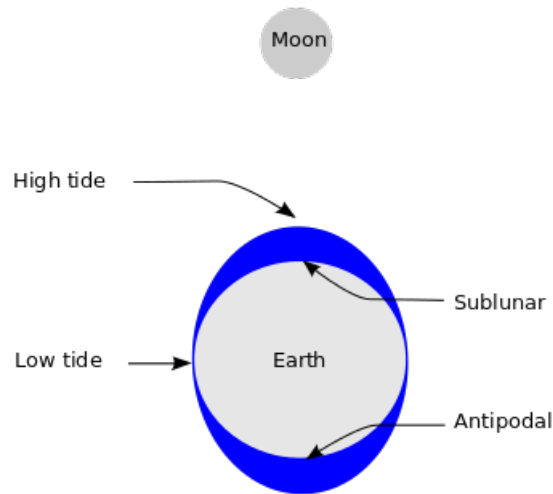
El principal propósito de la siguiente síntesis es crearnos un mejor conocimiento acerca de qué son las mareas, por qué son provocadas, los estudios que se han realizado con ellas, entre otros aspectos importantes; ya que próximamente estaremos trabajando con sondeos de mareas de las regiones que elegidas.

Los cuadros que aparecen al final muestran los 10 principales componentes armónicos de la marea en los lugares que escogimos, junto a la descripción de su nombre, símbolo y periodo en horas.

2. Mareas

Podemos definir a las mareas como los cambios en la bajada y subida en el nivel del mar. Las mareas son causadas por los efectos combinados de distintas fuerzas gravitatorias ejercidas por la luna y el sol, así como por la rotación de la tierra. Las mareas pueden variar en escalas de tiempo que van desde horas a años por distintos factores. Dichos cambios son registrados con precisión gracias a las estaciones medidoras de mareas que miden el nivel del agua a lo largo del tiempo.

Aunque las mareas suelen ser la principal razón de fluctuaciones a corto plazo del nivel del mar, los niveles del mar también pueden variar por otras fuerzas, como lo son el viento y cambios de la presión barométrica. Dichos fenómenos no sólo aparecen en los océanos, ocurren en cualquier otro sistema siempre que exista un campo gravitacional que varíe en tiempo y espacio.



3. Características de las Mareas

Las etapas de los cambios de mareas son las siguientes:

1. El nivel del mar se eleva durante varias horas, cubriendo la zona intermareal; pleamar.
2. El agua sube a su nivel más alto, alcanzando la marea alta.
3. El nivel del mar cae durante varias horas, revelando la zona intermareal; reflujo.
4. El agua deja de caer, alcanzando la marea baja.

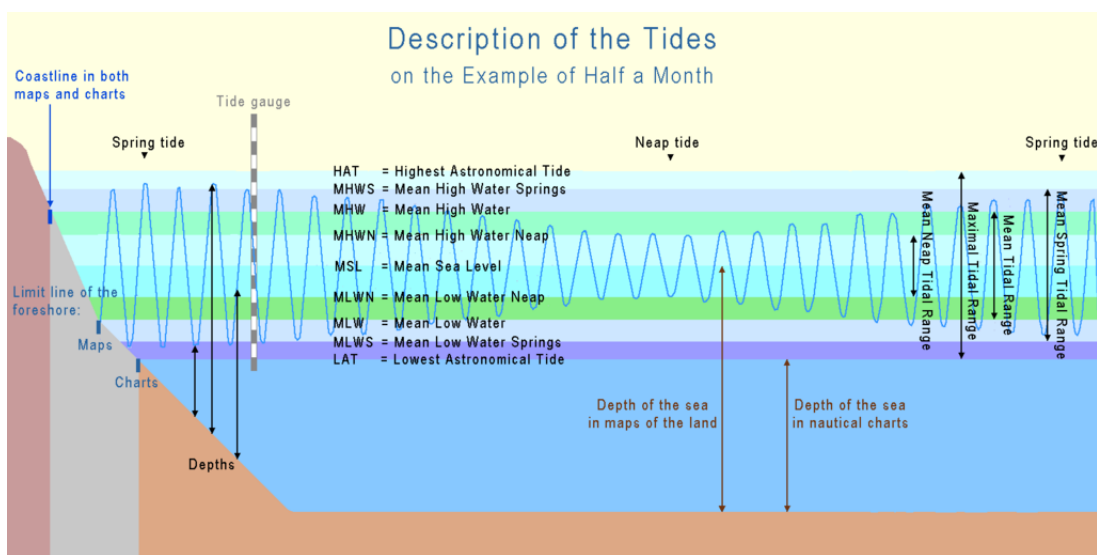
Se conoce cómo corriente de marea a las corrientes oscilantes que son producidas por las mareas. Al momento en que estas corrientes cesan se le llama agua floja o marea floja, y suele producirse cerca de las aguas altas y bajas. Después, la marea invierte su dirección y se dice que está girando.

Muy comúnmente las mareas son semidiurnas, esto se refiere a que hay dos aguas altas o dos aguas bajas por día, o diurnas, un ciclo de marea por día.

3.1. Definición de las Mareas

Se presentan a continuación los tipos de mareas a partir del nivel más alto hasta el más bajo.

- **Highest Astronomical Tide (HAT):** La marea más alta que puede ser predecida. Hay que tener en cuenta que las condiciones meteorológicas pueden agregar altura adicional a este tipo de mareas.
- **Mean High Water Springs (MHWS):** Es el promedio de dos mareas altas en los días de mareas de primavera
- **Mean High Water Neaps (MHWN):** Es el promedio de las dos mareas altas en días de marea muerta.
- **Mean Sea Level (MSL):** Este es el nivel medio del mar. El MSL es constante para cualquier localización durante un período largo.
- **Mean Low Water Neaps (MLWN):** Es el promedio de las dos mareas bajas en tiempo de marea muerta.
- **Mean Low Water Springs (MLWS):** El promedio de las dos mareas bajas en épocas de mareas de primavera.
- **Lowest Astronomical Tide (LAT) y Chart Datum (CD):** Es la marea más baja que puede ser predecida. Se debe tener en cuenta que en ciertas condiciones meteorológicas se puede mostrar un nivel de agua más bajo del que es realmente.



4. Componentes de las Mareas

Los componentes primarios constituyentes de las mareas son la rotación de la Tierra, La posición de la luna y el sol en relación con la Tierra, la elevación de la luna sobre el ecuador y la batimetría. Las variaciones que tienen períodos menores de medio día son llamadas constituyentes armónicas, y las que duran días, meses o años son reconocidas como constituyentes de largo período.

4.1. Principales componentes semidiurnos lunares

El periodo de este es mas o menos de 12 horas y 25.2 minutos, exactamente la mitad de un día lunar de marea. La luna orbita alrededor de la Tierra en la misma dirección en que la Tierra rota en su eje, así que toma un poco más de un día,aproximadamente 24 horas con 50 minutos, para Luna en regresar al mismo lugar en el cielo.

Ya que el campo gravitatorio creado por la luna se debilita con la distancia, ejerce una fuerza ligeramente más fuerte que la media del lado en que está frente a la Tierra y una ligeramente más débil en el lado opuesto. Así, la luna tiende a "estirar" ligeramente la Tierra a lo largo de la línea que une ambos cuerpos. La Tierra, al ser sólida, sólo se deforma un poco, pero el agua del océano, siendo un fluido, tiene la libertad de moverse mucho más en respuesta a la fuerza de marea, particularmente de forma horizontal. Aunque el océano nunca alcanza el equilibrio nunca hay tiempo para que el fluido alcance el estado al que eventualmente llegaría si la fuerza de marea fuera constante.

Cuando hay dos mareas altas cada día con diferentes alturas (y dos bajas, también con alturas distintas), el patrón se denomina marea semi-diurna mixta.

4.2. Variación de rango: springs y mareas muertas

El rango semi-diurno (diferencia de altura entre las aguas altas y bajas durante aproximadamente medio día) varía en un ciclo de dos semanas. Aproximadamente dos veces al mes, alrededor de la luna nueva y la luna llena, cuando el sol, la Luna y la Tierra están alineados (condición conocida como syzygy), la fuerza de marea se vuelve mayor. El margen de la marea está entonces en su máximo. Esto es conocido como "the spring tide", no se nombran así por la estación, si no por que esta palabra deriva del significado "salto, estallido, subida", como un resorte natural.

Cuando la Luna y el Sol están separados por 90° al verse desde la Tierra, la fuerza de marea solar cancela parcialmente la lunar. En estos puntos del ciclo lunar, el margen de las mareas está en su mínimo. Esto es conocido como la marea muerta.

4.3. Altitud lunar

La distancia cambiante entre la Luna y la Tierra también afecta las alturas de las mareas. Cuando la Luna está más cerca, en el perigeo, la gama aumenta, y cuando está en el apogeo, la gama se encoge.

4.4. Otros factores

Se tiene el efecto gravitacional solar, la oblicuidad del ecuador de la Tierra y rotación de eje, la inclinación de la Tierra de la órbita lunar y de la forma elíptica de la órbita terrestre del sol.

4.5. Fase y amplitud

La etapa o fase de una marea, denotada por el tiempo en horas después del alto nivel de agua, es un concepto útil. La etapa de marea también se mide en grados, con 360° por ciclo de marea. Las líneas de fase constante de marea se llaman líneas cotidal, que son análogas a líneas de contorno de altitud constante en mapas topográficos.

El agua alta gira alrededor del punto anfídromico una vez cada 12 horas en la dirección de las líneas cotidales ascendentes, y lejos de la disminución de las líneas cotidal. Esta rotación es generalmente en sentido horario en el hemisferio sur y en sentido contrario a las agujas del reloj en el hemisferio norte, y es causada por el efecto Coriolis. La diferencia de la fase cotidal de la fase de una marea de referencia es la época. La marea de referencia es el constituyente hipotético "marea de equilibrio."^{en} una Tierra sin tierra medida a 0° de longitud, el meridiano de Greenwich.

5. Física

5.1. Historia de la física de mareas

El estudio de la física de mareas fue importante en el desarrollo temprano de heliocentrismo y la mecánica de los cuerpos celestes, con la existencia de dos mareas diarias explicadas por la gravedad de la Luna. Más tarde también se estudió el efecto del Sol en las mareas.

El primero en ingresar la teoría de que las mareas eran causadas por la luna fue Seleucus de Seleucia, alrededor del año 150 aC. Después de él vinieron muchos más científicos como Kepler, Galileo Galilei, Newton, entre otros, que continuaron estudiando las fuerzas que actúan sobre la tierra y que repercuten en la producción de las mareas.

5.2. Fuerzas

La fuerza de marea producida por un objeto masivo (Luna, en adelante) sobre una pequeña partícula situada sobre o en un cuerpo extenso (Tierra, en adelante) es la diferencia vectorial entre la fuerza gravitacional ejercida por la Luna sobre la partícula y la fuerza gravitatoria que se ejercería sobre la partícula si estuviera situada en el centro de masa de la Tierra.

La fuerza gravitacional solar en la Tierra es en promedio 179 veces más fuerte que la lunar, pero debido a que el Sol está en promedio 389 veces más lejos de la Tierra, su gradiente de campo es más débil. La fuerza de marea solar es 46 % tan grande como la lunar.

5.3. Ecuación de mareas de Laplace

Las profundidades oceánicas son mucho más pequeñas que su extensión horizontal. Por lo tanto, la respuesta al forzamiento de marea puede ser modelada utilizando las ecuaciones de marea de Laplace. Esta incorpora las siguientes características:

1. La velocidad vertical (o radial) es despreciable.
2. El forzamiento es sólo horizontal (tangencial).
3. El efecto de Coriolis aparece como una fuerza inercial (ficticia).
4. La velocidad de cambio de la altura de la superficie es proporcional a la divergencia negativa de la velocidad multiplicada por la profundidad.

5.4. Amplitud y ciclos de tiempo

La amplitud teórica de las mareas oceánicas causada por la luna es de unos 54 centímetros (21 pulgadas) en el punto más alto, lo que corresponde a la amplitud que se alcanzaría si el océano poseía una profundidad uniforme, no había masas terrestres y la Tierra giraba en el paso con la órbita de la luna. El sol también causa mareas, de las cuales la amplitud teórica es de unos 25 centímetros (el 46 % de la de la luna) con un tiempo de ciclo de 12 horas. En la marea de primavera los dos efectos se suman unos a otros a un nivel teórico

de 79 centímetros (31 pulgadas), mientras que en marea baja el nivel teórico se reduce a 29 centímetros (11 pulgadas).

5.5. Disipación

Las oscilaciones de las mareas de la Tierra introducen la disipación a una velocidad promedio de unos 3.75 terawatts. Alrededor del 98 % de esta disipación es por mareas marinas. Estas se producen cuando los flujos de marea a escala de cuenca fluyen hacia los flujos de menor escala que experimentan una disipación turbulenta.

5.6. Batimetría

Las características costeras, como la batimetría submarina y la forma de la línea costera, hacen que las características de ubicación individual afecten el pronóstico de mareas; El tiempo y la altura reales del agua alta pueden diferir de las predicciones del modelo debido a los efectos de la morfología costera sobre el flujo de las mareas. Sin embargo, para un lugar dado, la relación entre la altitud lunar y el tiempo de marea alta o baja (el intervalo lunitidal) es relativamente constante y predecible, como es el tiempo de marea alta o baja con respecto a otros puntos de la misma costa.

Las masas terrestres y las cuencas oceánicas actúan como barreras contra el agua que se mueve libremente alrededor del globo, y sus formas y tamaños variados afectan el tamaño de las frecuencias de marea. Como resultado, los patrones de marea varían.

6. Principales Componentes Armónicos de las Mareas

Nombre	Símbolo	Periodo (hrs)
Límite de agua superficial de la luna principal	M_4	6.210300601
Límite de agua superficial de la luna principal	M_6	4.140200401
Agua superficial terdiurnal	MK_3	8.177140247
Abundancia de agua poco profunda de la energía solar principal	S_3	6
Cuarto de agua poco profunda diurna	MN_4	6.269173724
Principal lunar semidiurno	M_2	12.4206012
Principal solar semidiurno	S_2	12
Gran lunar elíptica semidiurna	N_2	12.65834751
Lunar diurno	K_1	23.93447213
Lunar diurno	O_1	25.81933871

7. Análisis de Mareas

Las siguientes gráficas muestran la variación de la amplitud de las mareas de los lugares elegidos. Dichas gráficas son de datos recopilados el mes de Abril del año pasado. Estas gráficas fueron creadas en python.

