

292
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS



MAREAS OCEANICAS

T E S I S

**PARA OBTENER EL TITULO DE
LICENCIADO EN GEOGRAFIA**

P R E S E N T A:

ELEAZAR AVILES LUGO

ASESOR: DR. SC NICOLAS GRIJALVA ORTIZ



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

Pág.

INTRODUCCION

CAPITULO I

LAS MAREAS Y SUS CAUSAS

- | | |
|--|----|
| a) Causas de las Mareas | 6 |
| b) Fuerza de Gravitación y Fuerza de Marea | 6 |
| c) Fuerza Productora de Marea | 10 |

CAPITULO II

TEORIA ESTATICA DE LAS MAREAS

- | | |
|---|----|
| a) Introducción | 13 |
| b) Teoría del Equilibrio de las Mareas o Teoría del Potencial | 15 |

CAPITULO III

TEORIA DINAMICA DE LAS MAREAS

- | | |
|-----------------------------------|----|
| a) Introducción | 19 |
| b) Teoría Dinámica según Proudman | 22 |

CAPITULO IV

DESIGUALDADES Y VARIACIONES GEOGRAFICAS DE LAS MAREAS

- | | |
|---|----|
| a) Desigualdades Geográficas de las Mareas | 25 |
| b) Condiciones Físico-Geográficas que hacen variar las Mareas | 31 |
| b1.- Factores Hidrometeorológicos | 32 |
| b2.- Factores Geodinámicos | 35 |

CAPITULO V

CLASIFICACION DE LAS MAREAS

- | | |
|--|----|
| a) Tipos de Mareas | 44 |
| b) Clasificación Soviética de las Mareas | 46 |
| c) Clasificación Francesa de las Mareas | 48 |

CAPITULO VI

ANALISIS Y CLASIFICACION Y METODOS PARA PREDICIR LAS MAREAS

a) Analisis Armónico	51
b) Métodos para Predicir Mareas	56
b1.- Método Inarmónico	56
b2.- Método de Estaciones de Referencia	61
b3.- Método Armónico	62
b4.- Máquinas para Predicir Mareas	66

ANEXO I

<u>ECUACIONES FUNDAMENTALES ACERCA DE LA VELOCIDAD DE LAS ONDAS PROGRESIVAS</u>	69
---	----

ANEXO 2

<u>ECUACIONES DEL MOVIMIENTO (CONTINUIDAD)</u>	71
--	----

ANEXO 3

<u>MAPA EN EL CUAL MUESTRA LA DISTRIBUCION GEOGRAFICA DE LA COMPONENTE HORIZONTAL DE LA MAREA TENIENDO UN CARACTER SEMIDIURNO</u>	73
---	----

ANEXO 4

<u>MAPA DE LA DISTRIBUCION DE LA RED MAREOGRAFICA EN LA REPUBLICA MEXICANA</u>	74
--	----

ANEXO 5

<u>MAPA QUE MUESTRA EL TIPO Y RANGO DE MAREA EN EL OCEANO MUNDIAL</u>	75
---	----

BIBLIOGRAFIA

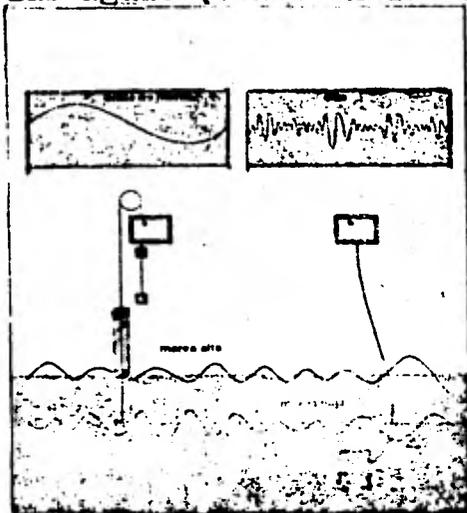
76

I N T R O D U C C I O N .

Las mareas se definen como un movimiento oscilatorio y de -- carácter periódico del nivel del mar, causado por los efectos de -- atracción gravitacional de la luna y el sol, dicho movimiento produce una elevación y descenso del nivel del mar el cual va a depender de los siguientes factores geográficos; de la latitud y -- longitud geográficas, declinación solar y lunar, del relieve del fondo marino, de la topografía del fondo del mar,

Este fenómeno claramente visible y a la vez es espectacular -- en algunas zonas costeras el movimiento ascensional del nivel del -- mar el cual se denomina flujo y el reflujo se denomina como el -- descenso del nivel del mar. El nivel más alto alcanzado por las aguas se denomina pleamar y el nivel más bajo alcanzado por las aguas se denomina bajamar. La diferencia de alturas que hay entre la bajamar y la pleamar constituye lo que se denomina amplitud de la marea. Para medir las mareas se llevan a cabo tales mediciones con aparatos denominados Mareógrafo y Mareómetro, el primero registra los -- cambios y fases de la marea, el segundo es una regleta de mamposte -- ría introducida en el fondo de la costa.

El Mareógrafo consiste en un flotador conectado a un aparato -- registrador sobre el cual imprime cada movimiento de las alturas de las aguas (véase en la fig 1).



Los centros de la luna y de la tierra en cuyas fuerzas de atracción y centrífuga se equilibran, pero en la superficie de la tierra no sucede lo mismo. En la zona más cercana de la luna la fuerza de atracción es mayor que la fuerza centrífuga y en la zona más alejada es menor.

Si la tierra estuviera rodeada por una capa continua de agua entonces la zona más cercana a la luna se formaría una especie de montaña; porque las partículas de agua serían atraídas con mayor fuerza y porque repelen a la fuerza centrífuga. En las antípodas de esta zona la fuerza centrífuga sería mayor que la fuerza de atracción gravitacional y también formaría un relieve. La atracción del sol produce un efecto similar referente a la enorme distancia que lo separa de la tierra, es de comprender que a pesar de la gran masa su acción con respecto a la de la luna tiene la siguiente relación 0.46 a 1.

Durante los períodos de luna llena y luna nueva los efectos del sol y de la luna se suman de tal manera que las mareas que se producen son muchas más importantes, a éste fenómeno se le denomina de mareas vivas o de mareas máximas, pero en el caso contrario o sea cuando la luna está en cuarto creciente y en cuarto menguante la acción del sol se contrasta a la de la luna ocasionando las denominadas mareas muertas o menguantes.

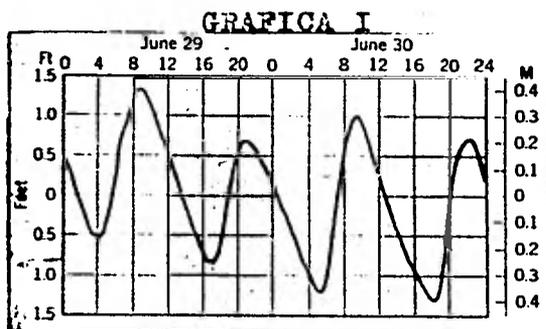
Otros factores que contribuyen al fenómeno de las mareas son de carácter Físico-Geográfico, estos pueden ser de carácter Geodinámico como los movimientos corticales o de la corteza terrestre (Orogénesis, Epirogénesis, Tectonismo, Vulcanismo,) Geofísicos (Sismos marinos Tsunamis, la aceleración gravitacional, rotación de la tierra, transgresión del campo magnético de la tierra porque

éste se alinea simétricamente a las placas tectónicas que a través de millones de años van girando hasta separarse y formar la actual formación de los continentes, dicho campo influye grandemente en la separación de los bloques tectónicos, ya que el potencial geomagnético es análogo al campo gravitacional, dicha separación de los bloques tectónicos ha influido grandemente en las fluctuaciones del nivel del mar a través de la historia del océano). Hidrometeorológicos (el régimen hidrológico, la influencia del viento, el crecimiento de los hielos, las glaciaciones).

Las diferentes teorías referentes a las mareas como lo son la teoría estática cuyo argumento se basa en el movimiento oscilatorio sigue a su astro productor o generador de dicho movimiento; la teoría dinámica la cual nos indica que el movimiento de las mareas o sea el movimiento oscilatorio del nivel del mar describe órbitas sinusoidales y dicho movimiento es como el de ondas progresivas y sinusoidales, ésto va de acuerdo con la teoría hidrodinámica de Laplace Airy, Doodson, y Darwin. Se basaron en las siguientes condiciones; que en el océano fué un fluido ideal con ausencia de fricción y viscosidad y con una configuración homogénea del fondo del mar. Sin embargo dichas teorías en la actualidad no han tenido buen resultado para el estudio del fenómeno de las mareas, un ejemplo lo es la resonancia de las mareas o sea cuando hay interferencia de las ondas producidas por el movimiento oscilatorio de las mareas.

Otro tema interesante pero poco estudiado y que no trataremos con detalle en los capítulos referentes a este trabajo, pero que lo abordaremos brevemente es el de las mareas de río; las cuales resultan en una area costera subsidente en la cual ocurre una ele-

vación del nivel del océano en cuyo aporte está la descarga o - desembocadura de los ríos. La elevación de ésta marea surge la - pleamar en cuyo movimiento de la onda es generada a lo largo del río que desemboca, el transporte de la onda depende de la profundidad del agua y de la velocidad de la onda la cual se determina con la siguiente ecuación(1) $v = 3.36 \sqrt{d}$ la profundidad es determinada en unidades métricas, si v es la velocidad de la onda, y d es la profundidad en metros, 313 es una característica de las mareas que va ha distinguirse en el océano abierto y en los intervalos de aguas bajas y someras que son de corto período. De ésto se deduce la siguiente ecuación(2) $v = 313 \sqrt{d}$



La cual muestra la curva de marea de una marea de río en el estuario del río Albany, New York, a más de 100 millas o sea 160 kilómetros tierra adentro, según H. A. Mämer.

El rango de la marea de río decrece por la energía de fricción; la fricción en el fondo del río es causada por el flujo del agua de río que va hacia el océano.

El incremento del rango se efectúa debido a que la energía de la onda de la marea está concentrada en una pequeña cantidad de agua.

Los tipos de las mareas cuyas constituyentes principales son

diurna, semidiurna, mixta, predominantemente semidiurna, mixta predominantemente diurna, los cuales van a depender del relieve del fondo, Topografía, de argumentos astronómicos como la declinación, período, latitud y longitud geográficas.

La predicción de las mareas en la cual es necesario tomar en cuenta las constituyentes o tipos de mareas, las constantes armónicas que son argumentos astronómicos como la declinación y la ascensión recta, la latitud y longitud geográficas, la altitud y la configuración y curvatura de la tierra. Se debe de tener unas cartas referentes al rango y período de las mareas, también es importante la Topografía, el datum Geodésico, el relieve del fondo. Conclusión: Para predecir las mareas es necesario tomar en cuenta los conocimientos de Astronomía, Geodésia, Cartografía, Topografía, Geomorfología.

CAPITULO I

LAS MAREAS Y SUS CAUSAS.

a) CAUSAS.

Para comprender cuáles son las causas que producen las mareas es necesario definir el fenómeno de las mareas. Dicho fenómeno se define como el movimiento oscilatorio del nivel del mar producido por la atracción gravitacional del sol y de la luna.

Las causas que producen el fenómeno de las mareas son las siguientes; la atracción gravitacional de la luna que ejerce sobre la tierra, la atracción gravitacional del sol que ejerce sobre la tierra. El efecto de atracción gravitacional de la luna va a variar de acuerdo con su período de traslación, la rotación y traslación de la luna va a influir en sus fases. Dichas fases presentan los siguientes fenómenos; el efecto de cuadratura que se realiza cuando la luna está en conjunción con la tierra y la distancia que hay entre la luna y la tierra forma un ángulo de 90° aproximadamente, éste efecto produce las denominadas mareas muertas o menguantes, otro efecto es el de Cisigia, el cual se realiza cuando la luna esta en oposición con respecto a la tierra, este efecto produce las denominadas mareas vivas o de Cisigia.

b) FUERZA DE GRAVITACION Y FUERZA DE MAREA.

Si se tiene a una esfera con una masa m_1 y con una distancia r con respecto al centro de la esfera y a otra esfera con una masa m_2 y la fuerza f , entonces de estos parámetros se obtiene la siguiente ecuación (I) $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$

r^2

De esta ecuación G es la constante de aceleración gravitacional cuyo valor es de $6.673 \pm 0003 \times 10^{-8} \text{ cm}^3 \text{ gms/seg}^2$

Al haber dos fuerzas de gravitación una de ellas es producida por el sistema Tierra-Luna; la otra es producida por el sistema Tierra-Sol; las fuerzas de gravitación son equilibradas por sus respectivas fuerzas centrífugas las cuales se explicarán en el siguiente párrafo.

Las fuerzas centrífugas ocurren una en la tierra y la otra en la luna, ambas son originadas debido a que sus órbitas una en la tierra que gira alrededor del sol y la otra en la luna y la tierra formando un centro común de rotación.

Pero si se supone que las fuerzas de gravitación y centrífugas no son equilibradas entonces la tierra no es una esfera esto en cuanto a su forma, considerando que el sistema Tierra-Luna es como dos modelos de esferas que efectúan su rotación en un punto que incide en la superficie de la tierra, el cual se localiza a una distancia de 4600 Km. a partir del centro de la tierra esto sucede cuando la luna esta en algún punto de la superficie de la tierra. La fuerza de gravitación es computada para el punto que está debajo de la luna o sea el punto sublunar y para el punto de las antípodas o sea el punto nadiral o nadir; sin embargo la computación de estos puntos es más compleja como lo veremos en la siguiente explicación.

La fuerza de gravitación se dirige directamente hacia el cenit; esta fuerza que se dirige hacia el cenit se determina con la siguiente ecuación $(2) F_g = G \frac{\mu M_m}{(R_m - r)^2}$ en donde F_g es la fuerza

de gravitación, R_m es la distancia media que hay del centro de la tierra al centro de la luna, M_m es la masa de la luna y μ es

elemento de la masa en el punto sublunar, r es el radio medio de la tierra. La fuerza centrífuga se determina con la siguiente ecuación (3) $F_c = G \frac{\mu M m}{R^2 m}$ en donde F_c es la fuerza centrífuga,

la suma de las ecuaciones (2) y (3) nos dan la ecuación (4)

$$F_t = G M m \frac{R^2 - (R^2 m - 2r R_m + r^2)}{(R^2 m - r)^2 R^2 m}$$

si r es el radio medio de la tierra

es muy pequeño comparándolo con R_m entonces la aproximación de la fuerza de marea es dada por la ecuación (5) $F_t \approx \frac{G M m 2r}{R^3 m}$ Pero

en el caso que se trate del centro de la tierra r se substituye en la ecuación (2) entonces las ecuaciones (2) y (3) darían un valor de cero; sin embargo en el lado opuesto de la tierra la fuerza de gravitación se determina con la siguiente ecuación (6) $F_g = \frac{G M m}{(R_m + r)^2}$

y en cuanto a las ecuaciones (3) y (6) se substituyen para obtener la ecuación (7) $F_t = -G M m \frac{(R + r^2) - R^2 m}{R^2 m (R_m + r)^2}$ de la cual se obtiene

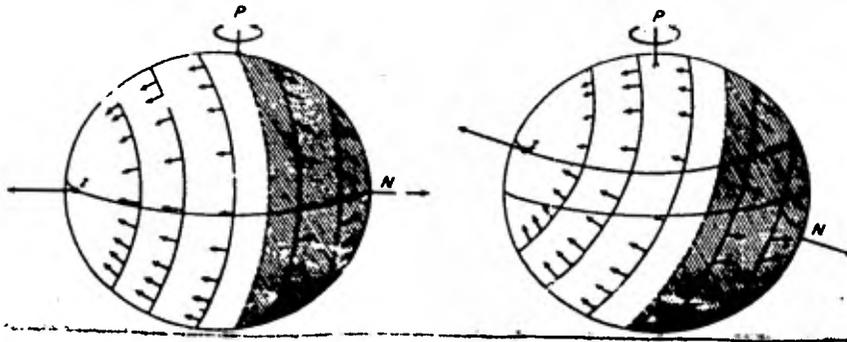
la ecuación (8) $F_t = \frac{-G M m 2r}{R^3 m}$ Si el punto sublunar y la fuerza -

productora de la marea estan directamente debajo de la luna entonces el punto nadiral y la fuerza productora de la marea estan dirigidos hacia la luna.

El campo de la fuerza vectorial en la tierra se efectúa como resultado de las componentes verticales y horizontales de la fuerza productora de marea o sea que es la resultante de éstas componentes para cada punto.

En la figura (I) se muestra esquemáticamente la representación de las fuerzas productoras de marea sobre la superficie terrestre.

Fig. No. 1



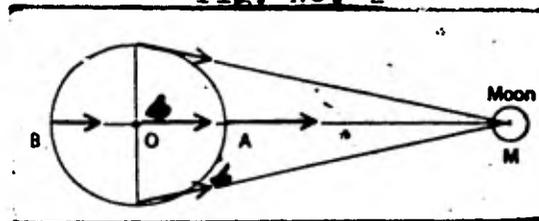
También la figura (1) muestra esquemáticamente la representación de la componente horizontal de la fuerza productora de marea, a la izquierda de esta figura muestra cuando la luna pasa por el ecuador, a la derecha de esta figura se muestra el punto sublunar que se localiza a los 28° de latitud N.

c) FUERZA PRODUCTORA DE MAREA

Quando la luna atrae de igual manera para cualquier punto de la tierra, si esto ocurriera no habría marea, pero si la diferencia de atracción de la luna fuese pequeña en cuanto a su magnitud y dirección en algún punto de la tierra, entonces hay una elevación de la marea.

De acuerdo a la ley de Newton la luna atrae a cualquier partícula por una fuerza dirigida directamente hacia el centro de la tierra y una magnitud inversamente proporcional a el cuadrado de la distancia que hay entre el centro de la luna y la partícula. Por ejemplo en la figura (2).

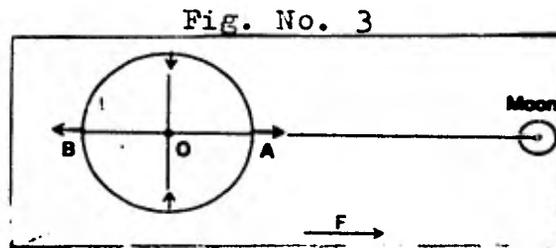
Fig. No. 2



La cual muestra a los puntos A y B en donde A es el punto donde la luna se encuentra en el cenit y B es el punto en el cual la luna se encuentra en el nadir. Es evidente que la fuerza de atrac-

ción de la luna se dirige hacia A y es tan grande que se localiza hacia abajo, debido a que b se cierra solo cuando la luna se aproxima.

Las fuerzas diferenciales de atracción responden a un desplazamiento en todas las partes de la tierra, la atracción gravitacional puede ser aproximadamente un vector constante y es igual a la atracción lunar sobre el centro de la tierra pero por una pequeña desviación de la cual varia de un punto a otro punto. En la figura 3 .



La cual muestra que hay esta pequeña desviación que esta referida a la fuerza productora de marea.

Cuando la fuerza es constante y completamente equilibrada por la fuerza de aceleración centrífuga de la tierra y su movimiento orbital que efectúa alrededor del centro de masa del sistema -- Tierra-Luna.

La fuerza productora de la marea es **proporcional** a la masa del cuerpo perturbante y inversamente proporcional al cubo de su distancia.

En la figura 3 muestra el diagrama esquemático de la fuerza productora de la marea para diferentes puntos de la tierra y la suma del vector en la fuerza productora de la marea la cual es constante F , la cual no varia de un punto a otro punto puesto que dicha fuerza produce el campo indicado en la figura 3, en donde F es la compensación de la fuerza centrífuga de la tierra cuando efectúa su movimiento orbital.

La ley inversa del cubo de la distancia es válida para el siguiente hecho en el que la luna tiene 2.17 tiempos, pues esto es importante porque concierne a las mareas en las cuales se efectúan directamente su atracción gravitacional sobre la tierra la cual es gobernada por la ley inversa del cuadrado de la distancia y esta cerca de los 180 tiempos lunares.

La fuerza productora de marea la cual se expresa en cuanto a su gradiente del potencial generador de ésta por medio de la siguiente ecuación (9) $\psi = \frac{3}{2} \gamma \frac{M r^2}{2c^3} (1/3 - \cos^2 \lambda)$ λ en donde es la distancia cenital de la luna, γ es la constante gravitacional. M es la masa de la luna, r/c es el término de la expresión la cual es de números pequeños y ha de ser suprimido, ψ depende solo de las variables espaciales las cuales son constantes a los ejes de la tierra y la luna.

Esto ayuda a considerar como una hipótesis a el potencial generador, pero cuando hay reposo de los océanos estos cubren a la tierra entonces este fenómeno responde a la fuerza de marea, si se considera a la superficie como una superficie equipotencial por dos causas como lo son la gravedad y la fuerza productora de marea.

La elevación de la superficie se determina con la siguiente ecuación (10) $\zeta = \frac{\psi}{g}$ constante, en donde ψ es la superficie terrestre evaluada y g es la aceleración de la gravedad terrestre, es la elevación hipotética del océano la cual es conocida como marea de equilibrio.

El conocimiento de la marea de equilibrio es determinado - completamente por el potencial generador o productor de marea - en todos los puntos de la tierra se define bien a la superficie de esta. Pero teóricamente cuando la marea de equilibrio es - mencionada y debe de ser comprendida con referencia a la fuerza productora de marea. El potencial de la fuerza productora de - marea de luna se determina con la siguiente ecuación

$$(11) VL = \frac{3}{2} \frac{K M r^2}{d^3} (\cos^2 Z_L - 1/3)$$
 en donde VL es el potencial de

la fuerza productora de marea de luna, Z_L es la distancia cenital de la luna con respecto a el centro de la tierra, K es la constante gravitacional, M es la masa de la luna, r es la distancia que va del centro de la tierra, d^2 es la distancia que hay entre los centros de la luna y la tierra. De forma análoga se determina el potencial de la fuerza productora de marea del sol con la siguiente ecuación (12) $VS = \frac{3}{2} \frac{K S r^2}{x^3} (\cos^2 Z_S - 1/3)$ en donde VS es el

potencial de la fuerza productora de marea de sol, S es la masa del sol, Z_S es la distancia cenital del sol referida a el centro de la tierra, x^3 es la distancia que hay entre el centro de la tierra y el del sol.

CAPITULO II

TEORIA ESTATICA DE LAS MAREAS

a) INTRODUCCION

Es la teoría estática de las mareas es también denominada teoría del equilibrio la cual fue desarrollada por Sir Isaac Newton en su obra "Principios Matemáticos de la Filosofía Natural" publicada en 1687. Dicha teoría propuesta por Newton no serviría para el pronóstico de las mareas y permitía únicamente determinar el rango de las fuerzas productoras de la marea, pero podría explicar cualitativamente algunas particularidades del fenómeno de las mareas. Pero posteriormente dicha teoría fue perfeccionada por Bernulli en su obra "Hidrodinámica" publicada en 1738, este científico aplico la teoría de Newton en el pronóstico de las mareas.

La teoría estática parte de la siguiente hipótesis, la cual argumenta que las crestas de las ondas de marea siguen el astro productor de la marea, lo siguen constantemente y no se atrasan ni adelantan a dicho movimiento. Como base de esta teoría hay que considerar que el océano es profundo y que cubre toda la tierra con una capa de igual grosor, esto es que no se interrumpe con los continentes y el agua está ausente de viscosidad e inercia. Estas condiciones del agua muestran que el agua del océano se encuentra en equilibrio bajo la acción de la fuerza gravitacional y de las fuerzas productoras de mareas de sol y de luna, esto es que el potencial de la fuerza de gravedad es igual a la suma de los potenciales productores de marea de sol y de luna. Dichas sumas se determinan con la siguiente ecuación (1) $V_g = V_L + V_S$ Por otro lado el potencial de las fuerzas productoras de marea debe ser igual a la diferencia y entre los potenciales de la fuerza de gravedad en el nivel medio del mar (o sea mar sin marea) y el nivel de la

marea. El potencial de la fuerza de gravedad en el nivel medio del mar se toma como cero entonces el potencial de la fuerza de gravedad en el nivel de la marea (V_g), el cual es igual a el trabajo efectuado por las fuerzas productoras que van en contra de la fuerza de gravedad para desplazar una masa unitaria del nivel medio del mar y hasta la altura de la marea h de la cual se expresa por la siguiente ecuación (2) $V_g = gh$ $gh = V_L + V_S$ de donde se obtiene la siguiente ecuación al despejar h

$$h = \frac{V_L + V_S}{g} = \frac{3}{2} \frac{Kr^2}{g} \left[\frac{M}{d^3} (\cos^2 z_L - 1/3) + \frac{S}{x^3} (\cos^2 z_S - 1/3) \right]$$

De dicha fórmula concluimos que únicamente actuará la fuerza productora de marea de luna y entonces la superficie del océano tendrían la forma de un elipsóide de revolución, con su eje mayor dirigido hacia la luna. La fuerza productora de la marea de sol se produce en un elipsóide con su eje mayor dirigido hacia él, la superficie cubierta de agua o superficie acuática de la tierra toma la forma de un elipsóide de revolución del cual se puede obtener por la suma geométrica de los elipsóides de marea lunar y solar.

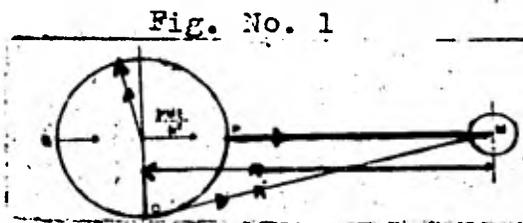
Otro resultado de la teoría estática es que en el momento de la presentación de la pleamar lunar debe de coincidir con el momento de culminación de la luna en el respectivo meridiano del lugar, y la pleamar solar coincide con el momento de culminación del sol, esto en la práctica no se observa, además que la fórmula expuesta anteriormente permite calcular la altura de la marea para cualquier posición de la tierra con respecto a la luna y al sol. Así que los cálculos efectuados según la fórmula nos dan un valor máximo en cuanto a el rango de las mareas es de 0.9m. y las observaciones de marea en las islas dentro del mar abierto muestran que el valor real de las mareas, ahí es muy cercano, esto de acuerdo con lo calculado por la teoría estática; este hecho nos indica que los diferentes valores de la marea en las orillas de los continentes son debido a las particularidades morfológicas (o sea la configuración de las costas y el relieve del fondo). Además de esto la teoría

estática permite explicar las principales desigualdades de la marea como lo son las de fase diurna y de paraleaje.

b) TEORIA DEL EQUILIBRIO.

La teoría del equilibrio es presentada adecuadamente por medio de un dibujo el cual es mostrado en la fig.(1), como más adelante veremos que dicha figura nos ayuda a explicar algunos factores que se incluyen dentro de las fuerzas productoras de marea. Al hacer las observaciones es obvio que las mareas son causadas fundamentalmente por la luna, si se hace un análisis de las fuerzas que ejercen sobre la hidrósfera terrestre.

La fuerza de atracción gravitacional que une a la tierra y a la luna como se observa en la figura (1)



La cual muestra a $\gamma ME/R^2$ de donde γ = la constante gravitacional, M es la masa de la luna, E es la masa de la tierra, y R es la distancia de los centros de ambos cuerpos. La aceleración experimentada por la tierra es igual a $\gamma M/R^2$ y se efectúa directamente hacia la luna, si suponemos que una partícula P experimenta una aceleración en alguna dirección es igual a $\gamma M/(R-r)^2$, Q es la aceleración en $\gamma M/(R-r)^2$ de donde r es el radio de la tierra, para O la aceleración es $\gamma M/(R)^2$ que va de un ángulo a otro.

Suponiendo que la aceleración de la tierra desde Q la cual es la aceleración relativa y se determina con la siguiente ecuación $Q \gamma M/(R+r)^2 - M/R^2 = -\gamma \frac{M}{R^2} \left[1 - \frac{1}{(1+r/R)^2} \right] = -\gamma \frac{M}{R^2}$

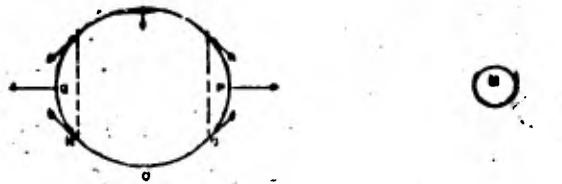
$\left[\frac{2r/R+r/R}{(1+r/R)^2} \right]^2$ (ecuación 3), y después que $r/R =$ es aproximadamente

es $1/60$ para el sistema de Tierra-Luna del cual podemos hacer las siguientes aproximaciones $(r/R)^2 = 0$, $(1+r/R)=1$ la aceleración relativa a $Q = -2 \gamma Mr/R^3$ la cual es directamente proporcional a la masa de la luna y es inversamente proporcional al cubo de la distancia de la luna.

Similarmente para P la aceleración relativa es $+2 \gamma Mr/R^3$ la resultante a 0 se puede mostrar directamente hacia el centro de la tierra el cual es igual a $\gamma Mr/R^3$.

La aceleración relativa que se experimenta en la superficie de la tierra se muestra cualitativamente en la figura (2)

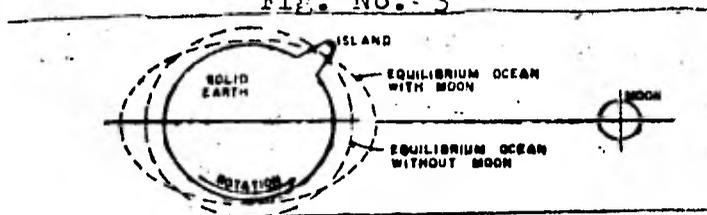
Fig. No. 2



En donde P y Q es la aceleración normal en la superficie, O también es normal, y en otras localizaciones de las componentes O es tangencial y normal; sin embargo a excepto las componentes G y H que son enteramente tangenciales.

Si consideramos que la tierra esta cubierta con océanos de profundidad heterogénea el equilibrio puede ser observado o visualizado en donde la componente vertical de ésta aceleración normal es balanceada por el desplazamiento de la superficie en el campo geopotencial. Entonces la configuración superficial sería relativamente distorsionada a una superficie geopotencial como lo muestra en la figura (3)

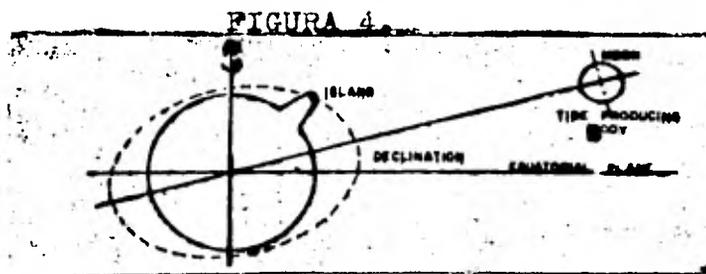
Fig. No. 3



En esta figura se observa que la tierra y el polo norte de ésta la superficie de equilibrio, en la cual muestra dos áreas elevadas en cada lado del planeta y dos áreas deprimidas. Si la tierra efectúa su rotación de la cual podemos observar en la isla dos mareas de aguas someras y dos de aguas bajas por día.

Pero para una marea doble de equilibrio causada por la luna - el desplazamiento es de 35.4cm. al máximo y de 17.7cm. como mínimo, ésta marea es causada por la fuerza productora de la marea de luna al irse incrementando su potencial.

Al poder construir una componente similar para el sol o sea - la marea de equilibrio de sol, en la cual la masa del sol es muy grande y está a una gran distancia. Desde los resultados que en la tierra se obtienen el potencial generado por la marea está cercano al 46% que el potencial generado por la marea de luna. Las anomalías teóricas referentes a la elevación son de 16.2cm. y de -8.2cm. cuando el sol y la luna estan alineados con respecto a la tierra (luna nueva y luna llena), los efectos aditivos son de mareas vivas o sea de sicigia, pero cuando el sol y la luna estan en cuadratura, dichos efectos son de mareas muertas. Pero cuando un cuerpo genera la marea es desplazada desde el plano ecuatorial de la tierra (declinación) y la configuración de equilibrio se observa en el plano meridiano, como lo muestra la figura 4



En la cual podemos observar que hay una isla hipotéticamente hay una marea desigual dentro de las dos mareas observadas durante el día.

La teoría del equilibrio de las mareas argumenta que dentro de las fuerzas generatrices y la explicación cuantitativa de muchos de los rangos de la marea los cuales hay que explicar las amplitudes observadas en las fases de las mareas, de las cuales muchas son diferentes desde la fase de las fuerzas generatrices.

Tales diferencias son atribuidas por las siguientes causas:

- (1) Los océanos han de tener límites reales meridionales,
- (2) Carácter oscilatorio de las mareas contribuyen al movimiento ondulatorio o sea de las ondas, en las cuales la velocidad progresiva es limitada por las características del agua somera, la cual se determina con la siguiente ecuación $C = \sqrt{g \cdot h}$.
- (3) Para el movimiento de tipo ondulatorio, la rotación de la tierra es importante.
- (4) En varias cuencas las cuales los océanos producen nodos de oscilación.

CAPITULO III

TEORIA DINAMICA DE LAS MAREAS.

a) INTRODUCCION

AL buscar una explicación acerca de las diferentes conclusiones referentes a la teoría estática y a los valores reales de la marea dentro de la esfera terrestre. Jean Pierre Laplace en 1775 desarrolló una nueva teoría de las mareas, la cual la denominó "Dinámica". Basándose en el siguiente argumento, él consideró que las fuerzas productoras de mareas tienen un carácter periódico y mantienen al océano con un movimiento de carácter oscilatorio y permanente, con un período igual al de las fuerzas productoras de marea.

Dichas oscilaciones producidas por varias fuerzas periódicas que actúan conjuntamente se pueden analizar por separado y el resultado de tal se obtiene por medio de la suma de las componentes de cada una de las oscilaciones, las partículas de agua que se encuentran en movimiento continuo describiendo ciclos de órbitas como resultado de este movimiento se forman las ondas de gran longitud y de período prolongado, que cruzan el océano. Laplace consideró que las ondas inducidas se presentan en mar abierto y profundo y con carácter muy regular.

El fundamento de la teoría Laplaciana es del tipo de ecuaciones que describen el movimiento las cuales fueron deducidas por él. Para considerar la propagación de la marea sobre una esfera en rotación como es la tierra, él obtuvo una serie de consideraciones como lo son las siguientes; la tierra está cubierta por un océano en todas sus superficies, el agua se considera como homogénea e

incompresible o sea sin compresibilidad, la viscosidad y fricción del fondo del agua se desprecian.

Laplace no pudo obtener por el camino teórico una fórmula para el pronóstico de las mareas, esto se debe a las consideraciones que anteriormente se mencionan, razón por la cual propuso introducir una fórmula para determinar los coeficientes de corrección (constantes para cada lugar) y son obtenidos por medio de la observación sobre las variaciones del nivel, éste tratamiento fue el primer paso en el campo de la creación de un método de trabajo para pronosticar las mareas. La fórmula completa, el cálculo de la marea con los coeficientes de corrección nos dan malos resultados para el pronóstico de las mareas semidiurnas regulares, el cual nunca tuvo aceptación práctica. Además de la proposición de Laplace fue el principio para la solución del problema que en base al método de análisis armónico. Su teoría explico algunas particularidades del fenómeno de la marea y en particular el origen de las desigualdades de fase tropical. Su conclusión sobre el papel tan importante de la influencia del relieve del fondo sobre la marea, fue muy relevante y fue un gran paso para la investigación de las mareas.

Un gran complemento es el tratamiento matemático del fenómeno de la marea, lo constituye la teoría de Airy (1942). El resolvió las ecuaciones de Laplace aplicándolas a la aplicación de la onda de marea en canales angostos de profundidad variable y orientados a lo largo de los meridianos paralelos. El obtuvo que en los canales orientados con relación a los paralelos se forman ondas largas y progresivas, y en los canales orientados con relación a los meridianos se forman ondas de tipo estacionario.

Airy demostró que la fricción del fondo puede producir un retraso en la presentación de la pleamar a la culminación de la luna

que es un punto no explicado por las teorías anteriores. Airy - también explica satisfactoriamente algunas particularidades de las mareas en las costas; por ejemplo el efecto bore llamado pororoca en Brasil, y el cambio de las corrientes de marea.

El desarrollo anterior de la teoría dinámica de las mareas se debe a los trabajos de Kelvin y Darwin. Kelvin prestó interés a la influencia de la fuerza de coriolis sobre las mareas. Él estudió particularmente las ondas progresivas libres, Kelvin también hizo mucho para la solución del problema referente al pronóstico de las mareas y en particular desarrolló el método de Laplace para la descomposición de la onda de marea en una serie de armónicos (esto fue el principio del análisis armónico). La conclusión de los coeficientes de corrección dados por la fórmula de Laplace Kelvin los resolvió con la ayuda de un aparato denominado analizador armónico.

Darwin dio una constitución a la teoría del análisis armónico y en base a ella propuso un método muy cómodo de trabajo para el pronóstico de las mareas, él desarrolló la teoría de la influencia de las mareas en el retraso de la rotación terrestre. Doodson en 1927 resolvió más rigurosamente el problema del análisis armónico de las mareas.

En esta forma y de acuerdo a la teoría dinámica, los cuerpos celestes y productores de las mareas son la luna y el sol, los cuales provocan la formación de dos tipos de ondas como son las forzadas y las libres. Basándose en los resultados de esta teoría se puede llegar a la siguiente conclusión, la no coincidencia de las velocidades de propagación de las ondas libres y las forzadas producen una interferencia y reflexión de las ondas de marea por todos los continentes en donde se produzcan la formación de ondas estacionarias. Esta conclusión promete explicar la gran diferencia de los tipos de mareas que hay en el océano mundial. No obstante los muchos logros alcanzados por las teorías estática y dinámica de las

... Estas teorías aún no son capaces de describir totalmente el fenómeno en su conjunto como lo es el de las mareas.

b) TEORÍA DINÁMICA SEGUN PROUDMAN.

La teoría dinámica de las mareas desarrollada por Proudman puede ser probada al menos en canales estrechos o limitados y el desarrollo de esta teoría permite el cálculo de la marea de litósfera o terrestre. Su restricción en aguas localizadas en canales estrechos en cuya configuración de los fondos se conoce más exactamente porque las corrientes transversales son despreciables, por otra parte las mareas parciales son consideradas como de corto período lo cual es una gran ventaja. Proudman desarrolló dos métodos para la computación de γ , la cual será explicada simularmente.

Si X es tomada como en dirección de los ejes longitudinales dentro del mar estrecho en forma de un canal y representan los valores promedios U representa los valores promedios de la corriente de marea dentro de la sección que cruza perpendicularmente a X; pero si no hay corriente transversa entonces solo sería U una función de X y t.

Las ecuaciones diferenciales que describen el movimiento del agua se escriben de la siguiente manera (1)

$$\frac{d^2 \eta}{dt^2} = g \frac{d}{dx} (\eta + \eta_0 = \bar{\eta} = \eta)$$

$$2wg \varphi u = -g (\eta + \eta_0 = \bar{\eta} = \eta_0) \quad (1)$$

En cuanto a la ecuación de continuidad se deduce de la siguiente forma (2)

$$\frac{d}{dx} (Su) + b \frac{d\eta}{dt} = 0 \quad (2)$$

En la cual S representa a el area y b a la sección cruzada en el punto X, X es conocida en la ecuación (1) entonces esto ayuda a

reducir los rangos de la marea a lo largo de las costas, en las cuales se observan los ejes centrales del canal.

El primer método empleado por Proudman determina las diferencias que hay por las mareas computadas y si se toman en cuenta las mareas de litósfera y las mareas observadas. Obteniendo de la ecuación 2 podemos obtener las siguientes ecuaciones:

$$h = H \cos(\sigma t - X) = h_1 \cos \sigma t + h_2 \sin \sigma t$$

$$U = U \cos(\sigma t - \xi) = U_1 \cos \sigma t + U_2 \sin \sigma t$$

Así obtenemos la siguiente ecuación:

$$\Delta S u_1 = - \sigma H \sin X \cdot b \Delta X \quad \text{y} \quad \Delta S u_2 = + \sigma \cos X \cdot b \Delta X$$

Si a lo largo del canal el rango de la marea es conocido, entonces puede ser computado con las siguientes relaciones U_1 y U_2 ; la velocidad de la corriente en la sección cruzada de la cual habremos de obtener la variación de la velocidad de la corriente durante una unidad de tiempo para todas las secciones, a causa de ser conocidas las observaciones de marea obtenemos las siguientes ecuaciones

$$\frac{d}{dX} (h - \bar{h}) \quad \text{o} \quad - \frac{d}{dX} (h_1 - \bar{h}_1) \quad \text{y} \quad - \frac{d}{dX} (h_2 - \bar{h}_2)$$

En la teoría de las fuerzas generadoras de mareas se incluyen la ecuación 1 y solo se obtienen las siguientes ecuaciones.

$$\frac{d}{dX} (h_0 - \bar{h}_0)_1 \quad \text{y} \quad \frac{d}{dX} (h_0 - \bar{h}_0)_2$$

Estas ecuaciones son conocidas y pueden ser computadas de la siguiente manera. Por el método que se obtiene a través de integra ciones numéricas y del rango de la marea $h_0 - \bar{h}_0$ excepto para una constante conocida X. Teóricamente solo de una marea relativa de litósfera, la cual tiene una diferencia de elevación de la corteza terrestre que está relacionada con la elevación causada por la atracción de la protuberancia.

El segundo método, al menos depende de la ocurrencia de las observaciones y consiste en reemplazar a U y ζ por $U e^{i\epsilon t}$ y $\zeta e^{i\epsilon t}$ si tomamos a $\zeta = \gamma \zeta_1 + I \zeta_2$ y $U = \gamma U_1 + I U_2$

De las ecuaciones 1 y 2 obtenemos lo siguiente:

$$\gamma \left[i\epsilon U_1 + \epsilon \frac{\Delta \zeta_1}{\Delta X} - F \right] + I \left[i\epsilon U_2 + \epsilon \frac{\Delta \zeta_2}{\Delta X} \right] = 0$$

$$\gamma \left[\frac{\Delta S u_1}{\Delta X} + i\epsilon b \zeta_1 \right] + I \left[\frac{\Delta S u_2}{\Delta X} + i\epsilon b \zeta_2 \right] = 0 \quad (3)$$

Las dos expresiones principales son iguales a 0 y dan condiciones limitantes $\zeta_1 = 0$ y $S u_1 = 0$ para que $X = 0$ es una oscilación forzada que es causada por la fuerza ϵ .

Las dos expresiones que están entre paréntesis con la condición limitante $\zeta_2 = 1$ cm $S u_2 = 0$ para que $X = 0$, al presentarse una tercera oscilación las condiciones limitantes de las cuales la primera es arbitraria.

Una solución general de éstas ecuaciones es dada por la siguiente condición

$$\left. \begin{aligned} \zeta &= \{ (1-h+k) \zeta_1 + I \zeta_2 \} \cdot e^{i\epsilon t} \\ U &= \{ (1-h+k) U_1 + I U_2 \} \cdot e^{i\epsilon t} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Una comparación con las observaciones de al menos de una estación de todas, con una de éstas es suficiente para computar ambas estaciones que son desconocidas, para que $\epsilon = 1 - h + k$ y I , para que esto sea posible es necesario determinar las diferencias en fase de las cuatro estaciones desconocidas.

CAPITULO IV

VARIACIONES Y DESIGUALDADES GEOGRAFICAS DE LAS MAREAS.

a) DESIGUALDADES DE LAS MAREAS.

Las desigualdades que se producen en las mareas son causadas principalmente por los astros que producen a éstas o sea a las mareas, como lo son el sol y la luna al encontrarse siempre en el plano del ecuador y a la misma distancia de la tierra, entonces con la teoría estática en la mayor parte de la esfera terrestre. Las mareas tendrían un carácter o un rango completamente igual, de esto se deduce que se observarían dos pleamares y dos bajamares diariamente, pero la excepción solo sería en los polos, en donde se observaría una bajamar con el intervalo que hay entre la pleamar y la bajamar sería siempre el mismo y la altura de dos pleamares y dos bajamares consecutivas serían igual entre sí.

En realidad la inclinación de la luna y el sol así como la distancia que existe entre estos dos astros con referencia a la tierra varían continuamente, por ejemplo el sol varía su inclinación de $23^{\circ} 27' N$ hasta $23^{\circ} 27' S$ y la luna de $23^{\circ} 27' \mp 5^{\circ} 8' N$ hasta $23^{\circ} 27' \mp 5^{\circ} 8' S$. La variación de la distancia que existe entre la tierra y el sol es de 23732 radios terrestres en el apogeo (5 de julio) hasta 22949 radios terrestres en el perigeo (2 de enero). La distancia que existe entre la tierra y la luna varía de 57.0 radios terrestres en apogeo (5 de julio) hasta 63.7 radios terrestres en perigeo. Estas variaciones producen las desigualdades de las mareas o sea son la causa de las desigualdades de las mareas; diurna, mensual y semimensual de paralaje. Además existen otras desigualdades de largo período provocadas por otras causas.

DEFINICION.- Se denomina el término desigualdad de marea a las diferencias de los rangos de marea y a los tiempos en que pro-

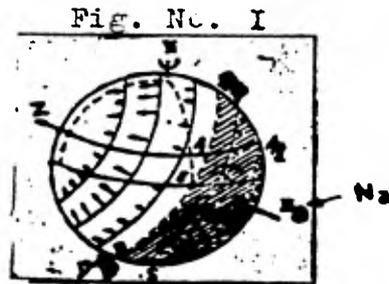
ducen las pleamares y las bajamares en función a los valores medios para el punto considerado.

Se denomina a la desigualdad diurna de mareas, como la diferencia en la altura de dos pleamares y dos bajamares consecutivos en un solo día, y a la diferencia que hay entre la duración de subida y la duración de bajada del nivel. Esto es la asimetría que hay entre la elevación y el descenso del nivel. La desigualdad diurna de la marea es producida por la variación de la declinación de la región que se trate, la declinación de la luna varía con un período de 27.32 días medios y la del sol varía con 365 días medios, consecuentemente las variaciones de las desigualdades diurnas se efectúan con un período semimensual y semianual. La desigualdad diurna se representa en las mareas mixtas por ejemplo el aumento lento de las desigualdades diurnas por lo cual la marea diurna es desigual y conduce a la desaparición de la bajamar superior y la pleamar inferior, entonces para hacer de una marea mixta a una marea diurna, esto sucede cuando la luna alcanza su máxima declinación.

Para las mareas semidiurnas y diurnas puras no debe de existir la desigualdad diurna, pero hablando estrictamente de estas mareas, no existen ya que todas son mixtas aunque sean predominantemente diurnas unas y otras predominantemente semidiurnas.

La desigualdad diurna es causada también por las condiciones Físico-Geográficas; las aguas someras se observan una disminución de la duración de subida del nivel de marea en razón a el aumento de la duración de bajada o también el efecto contratio. En algunos lugares estas desigualdades conducen a la aparición de las pleamares y de las bajamares complementarias y a la formación de lo que se le denomina marea doble.

Analizando el surgimiento de la desigualdad diurna para el caso en el cual se supone que la luna se encuentre en su mayor declinación norte, véase en la figura (I).



En la cual muestra las componentes horizontales de la fuerza productora de marea con la máxima declinación norte de la luna. Están representadas por medio de flechas las componentes horizontales de la fuerza productora de la marea de luna, en el punto Z la luna se encuentra en el cenit y el movimiento de rotación de la tierra sobre su eje el cual se muestra por el polo norte, por medio de una flecha.

Las mareas más altas se observarán en los puntos Z ($28^{\circ}35'N$) y Na ($28^{\circ}35'S$) al girar la tierra en torno a su eje o sea alrededor de su eje el punto Z ocupará el lugar A al cabo de 6 hrs. 30' (y no de 6 hrs. 12' 30") como sería en la declinación lunar igual a cero. En el punto A se observa una bajamar, y el retraso es de 17.5 minutos el cual se produce como consecuencia del círculo de iluminación BAE que corta a el ecuador con ángulo agudo, por eso esta paralelo a ZAA₁, después de las 6hrs. 12'30" se desplaza únicamente hasta el meridiano NE y se necesita aún algún tiempo para que llegue a el punto A, que es el corte del paralelo con el círculo de iluminación a lo largo del cual va de acuerdo a la teoría estática el nivel del océano es el más bajo. El punto seleccionado se desplaza hasta A₁ en donde se observa la pleamar en 12h 25', en este punto (A₁) la elevación del nivel en la pleamar será menos que el alcanzado en el punto Z; y que dista en el punto A₁ de $2 \times 28^{\circ}35' = 57^{\circ}10'$ del punto Na en el cual la elevación del nivel es

igual a la del punto Z.

Si la declinación de la luna es diferente de cero, entonces para todos los puntos de la tierra, con la excepción del ecuador y los polos, el rango de la marea en los pasos superior e inferior de la luna no serán iguales entre sí. En el ecuador los rangos de la marea son en ambos pasos, de la luna son iguales y también en ambos polos.

De ésta forma la inclinación de la luna es diferente de cero y surge una desigualdad entre los intervalos de tiempo que hay entre la pleamar y la bajamar.

También hay una desigualdad de los rangos de la pleamar y bajamar consecutivas. La primera desigualdad se llama desigualdad diurna de marea y está en función al tiempo, la segunda se le denomina desigualdad diurna de marea en altura o sea en función de su altura.

De todo lo expresado con respecto a las desigualdades de las mareas producidas por las variaciones de la declinación de la luna, éste argumento también es válido para el sol. Evidentemente que al coincidir las mayores declinaciones con el mismo signo del sol y de la luna, entonces la desigualdad será mayor.

La mayor de las desigualdades es la desigualdad semimensual, - la que se divide en dos partes; la desigualdad causada por la variación de la fase de la luna y la producida por la variación de la declinación de la luna durante el transcurso del mes.

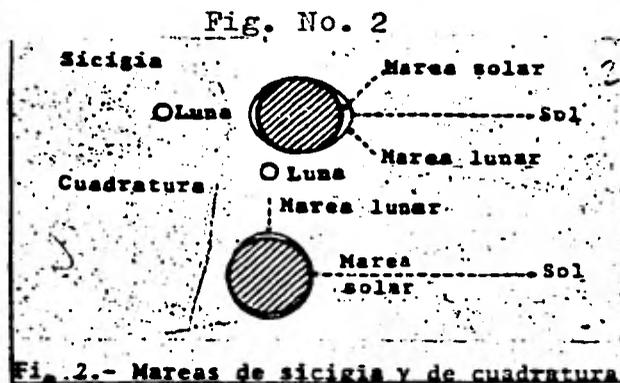
La desigualdad de fase es producida por la variación continua de la dirección de las fuerzas productoras de la marea de luna y de sol, como consecuencia de la rotación de la luna a alrededor de la tierra y ésta alrededor del sol.

La dirección de la tierra al sol se realiza en el transcurso

del mes que varía poco, pero de la tierra a la luna en este período varía en 360° y además dos veces (en sicigias) que coinciden con la dirección del sol y dos veces (en cuadraturas), cuando la luna se encuentre en el plano perpendicular al sol, el rango de las sicigias en lo que se refiere a las variaciones del nivel son producidas por la luna y el sol, entonces la sicigias se suman y las cuadraturas se restan. En las sicigias la pleamar forma un conjunto de la pleamar luna (véase area blanca de la figura 2) y la pleamar solar (véase en el area negra), la baj mar en las bajamar lunar y solar. En ésta forma se efectúan dos veces al mes las sicigias que dan lugar los rangos mayores de la marea y dos veces en cuadraturas que dan lugar a los menores rangos.

El período medio de la desigualdad de fase es de 14.77 días ya que el tiempo que hay entre dos nuevas lunas o dos lunas llenas es el mes sinódico el cual es igual en promedio a 29.53 días.

La segunda componente de la desigualdad semimensual se denomina tropical.



Se muestran las areas blancas y negras.

El ciclo completo de las variaciones de la declinación de la luna se efectúa durante el mes tropical el cual tiene una duración de 27.32 días y además de la desigualdad se determina únicamente por el valor de la declinación de la luna y no depende del signo, esto

es en el caso de que la luna se encuentre en el hemisferio norte - o en el sur, por este período de la desigualdad de la marea es - igual a la mitad del mes tropical esto es de 13.66 días. Con las grandes declinaciones de la luna, las mareas "Tropicales", cuando la luna se encuentra cerca de los trópicos, es cuando se observan éstas mareas. Pero con una declinación cero de la luna se registran los menores rangos de las mareas, a este tipo de mareas se les denomina "Mareas Ecuatoriales".

En dependencia de la declinación de la luna varían también - los intervalos lunares, por eso la desigualdad tropical se refleja en el tiempo de aparición de las pleamar.

En las variaciones reales del nivel, provocadas por las mareas las desigualdades de fase y tropicales se presentan juntas y es difícil diferenciarlas, además como se muestra en la figura (3), la - desigualdad de fase predomina en las mareas semidiurnas y la desigualdad tropical predomina en las mareas diurnas o predominantemente diurnas.

Fig. No. 3

Muestra los tipos de mareas.

a) Semidiurna (Balboa), b) Predominantemente Semidiurna (Vancouver)

c) Predominantemente Diurna (Bangkok)

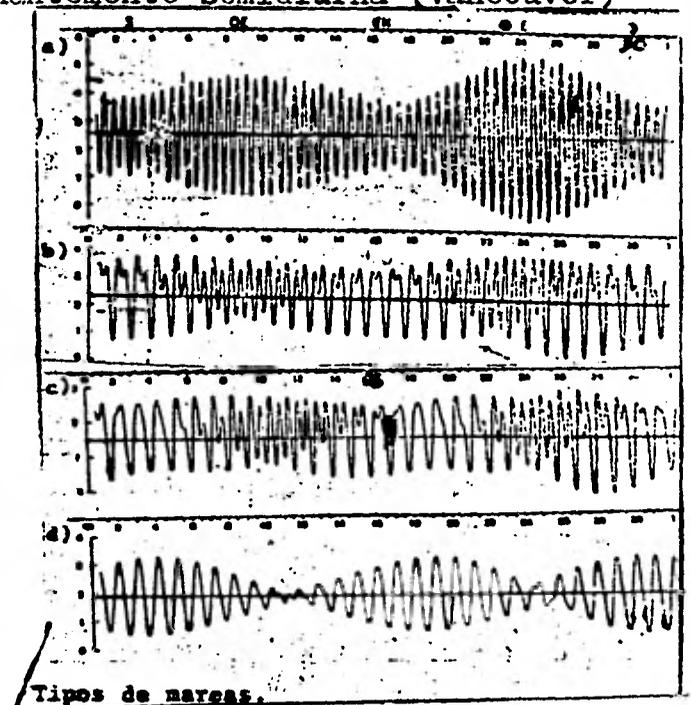
d) Diurna (en la isla de Hon-do, Vietnam)

- , luna llena, 2 luna nueva
- , cuarto creciente
- , cuarto menguante

S Declinación Sur máxima de la luna

N Declinación Norte máxima de la luna

E Declinación cero de la luna



La desigualdad mensual surge como consecuencia de las variaciones de la distancia de la tierra a la luna y al sol. Las fuerzas productoras de la marea son inversamente proporcionales a el cubo de las distancias del astro productor o sea el astro que las genera, por esto la variación en la distancia se refleja notablemente en el rango de la marea. El rango de marea solar en perigeo es aproximadamente 10% mayor que el rango de marea solar en apogeo. El rango de marea lunar es aproximadamente el 40% mayor en el perigeo que en el apogeo. Sin embargo para evaluar cuantitativamente la distancia de la tierra a la luna se utiliza el indicador angular denominado paralaje.

Se denomina al Paralaje horizontal como a el ángulo que se forma en el centro del cuerpo celeste por la recta que pasa por el centro de la tierra con las tangentes a su superficie.

La desigualdad de largo período de la marea se produce por las variaciones de la declinación de sol durante el transcurso de un año, las cuales condicionan las variaciones de los rangos tropicales de las mareas de período semidiurna. Las variaciones en la distancia de la tierra y del sol (Paralaje solar), las cuales producen una desigualdad de paralaje anual en las mareas, además existe la desigualdad de 18.6 años que esta relacionada con las variaciones en la declinación de la luna, la cual de como consecuencia su inclinación orbital o sea de su órbita con respecto al plano de la eclíptica con un ángulo constante e igual a $5^{\circ} 08'$.

b) CONDICIONES FISICOGEOGRAFICAS QUE HACEN VARIAR LAS MAREAS.
(VARIACIONES SECULARES DEL NIVEL DEL MAR).

Es interesante determinar los cambios seculares del nivel del mar, los cuales no son basados sólo en una serie de observaciones prolongadas, que son archivadas para determinar los promedios anuales del nivel del mar; sí no también en una serie de factores

que afectan las variaciones del nivel del mar. Estos factores son denominados factores Fisicogeográficos, los cuales se clasifican en dos grupos: 1.- Factores Hidrometeorológicos. 2.- Factores Geodinámicos.

Los Factores Hidrometeorológicos son los siguientes:

Ia) Factor Meteorológico (Presión atmosférica, viento y precipitación).

Ib) Factor Oceanográfico (Densidad del agua marina y corrientes marinas).

Ic) Factor Hidrológico (Descarga de los ríos).

Ia.- Factor Meteorológico: Se basa en la utilización de los valores de la presión atmosférica y los vientos correspondientes a la superficie de la agua marina.

El Dr. Rossiter introdujo las computaciones denominadas anemobéricas; él procedió con el siguiente método, eliminando los efectos meteorológicos en los datos referidos al nivel del mar basando los resultados de la presión atmosférica de tres estaciones, las cuales forman un triángulo equilátero que cubre la región costera indicada por los datos referidos al nivel del mar.

En adición a el anterior argumento se considera que el efecto de la marea nodal y la fuerza generadora del viento contribuyen en las fluctuaciones del nivel del mar.

Ib.- Factor Oceanográfico: Lisitzin considera que debe de haber algunas modificaciones, tales como la eliminación de la marea nodal dentro de las computaciones referentes a las datos del nivel del mar. Los resultados finales son basados en el esquema de la distribución de la presión atmosférica, los efectos locales del viento, los cuales son tomados en cuenta en algunos casos, pero el efecto de la densidad del agua marina no es tomado en consideración por Rossiter.

Sin embargo Hella estudió los factores Oceanográficos y Meteorológicos que afectan al nivel medio anual del mar (en el caso del Mar Báltico) se deben a dos causas; una de ellas es la variación total del agua marina en la cuenca del Mar Báltico, dicha variación es causada por fuerzas que actúan fuera de la cuenca, como los son las corrientes marinas, la otra causa son los cambios en la pendiente de la superficie del agua marina, los cuales son dados por las características regionales, la pendiente de la superficie del agua marina también es producida por la distribución prevalectente de la presión atmosférica, por el viento que sopla sobre la superficie del mar, así como las diferencias de densidad del agua marina.

Otros factores Oceanográficos que influyen en la variación del nivel del mar son la fusión del hielo continental, la cual produce cambios en el volumen de los océanos y mares, por lo tanto las desviaciones de los valores promedios del nivel del mar, los cuales se integran en las computaciones que basan los diferentes efectos disturbeantes del nivel del mar,

Los movimientos verticales de la corteza terrestre, se les determina su promedio y sus desviaciones atribuidas como efectos disturbeantes del nivel del mar.

En la Tabla 1 muestra una comparación de la contribución de la elevación terrestre es computada por diferentes autores, pero con ayuda de la influencia de las mareas sobre el nivel del mar, las observaciones que muestra dicha tabla fueron realizadas por Witting, Lisitzin, Hella, y Rossiter.

Variaciones seculares del nivel del mar en las costas de Finlandia en un año para diferentes períodos.

	Witting (1918) 1898-1912	Witting (1943) 1898-1927	Model (1950) 1904-1937	Hela (1953) 1922-1951	Rossiter (1960) 1940-1958	Listizin (1964) 1924-1960	Rossiter (1967) all available data
Kemi	-	(11.7)	7.2	6.4 ± 1.2	8.5 ± 1.4	7.3 ± 0.9	6.7 ± 0.5
Oulu	10.3	10.7	6.3	6.3 ± 1.2	7.0 ± 1.3	7.1 ± 1.0	6.1 ± 0.3
Raahe	-	(11.7)	7.5	7.4 ± 0.9	8.0 ± 1.4	7.8 ± 0.7	7.1 ± 0.4
Pietarsaari	-	-	8.7	7.6 ± 0.4	9.2 ± 1.4	8.2 ± 0.7	7.8 ± 0.4
Vaasa	9.2	8.7	8.0	7.2 ± 0.7	7.6 ± 1.3	8.0 ± 1.1	7.5 ± 0.2
Kaskinen	-	-	6.8	7.6 ± 0.7	6.7 ± 1.4	7.4 ± 0.7	7.5 ± 0.8
Mäntytouo	7.4	6.6	6.8	6.5 ± 0.4	5.3 ± 1.4	6.4 ± 0.6	6.3 ± 0.3
Rauma	-	-	5.0	5.9 ± 0.4	3.9 ± 1.5	-	6.0 ± 0.6
Turku	-	(5.4)	3.3	4.8 ± 0.6	2.5 ± 1.5	4.4 ± 1.2	3.7 ± 0.5
Degerby	-	-	3.3	5.1	-	4.6	4.1 ± 0.5
Hangö (Hanko)	4.5	4.0	3.6	3.5 ± 0.6	1.1 ± 1.5	3.1 ± 0.5	3.0 ± 0.1
Helsinki	0.8	2.8	2.8	3.1 ± 0.4	-0.4 ± 1.5	2.5 ± 0.5	3.2 ± 0.2
Hamina	-	-	3.6	2.2 ± 1.0	-0.4 ± 1.5	-	1.8 ± 0.7

Mapa que muestra la variación secular del nivel medio del mar en las costas de Finlandia en mm/año, ésta cuando se efectúa un desplazamiento a lo largo de la costa de Finlandia según Listizin en 1964.



1c.- FACTOR HIDROLOGICO.

La descarga de los ríos en las costas en donde desembocan, producen un incremento del nivel del mar, además de mezclarse -

las aguas continentales con las aguas oceánicas, además de cambios en la intensidad y dirección de las corrientes marinas. Udos estos fenómenos son factores que ocasionan cambios en el nivel del mar.

2.- FACTORES GEODINAMICOS.

Los factores Geodinámicos son los siguientes:

2a.- Factores Tectónicos

2b.- Factores Eustáticos y Criogénicos

2c.- Tsunamis o Sismos Marinos

2a.- FACTORES TECTONICOS.

Los factores son los siguientes; Movimientos Verticales de la Corteza Terrestre, como son Plegamientos, Movimientos Orogrénicos, Formación de Volcanes, Movimientos Horizontales de la Corteza Terrestre, Movimientos Epirogénicos, Désplazamientos de masas Continentales.

Los Geodestas, Geofísicos, y Oceanógrafos han completado datos sobre la nivelación Geodésica de precisión para determinar si han ocurrido movimientos verticales y horizontales de la corteza terrestre, las contribuciones de éstos movimientos han sido computadas por Rossiter. Hay otro método para determinar los recientes movimientos de la corteza terrestre, este método es el de Nivelación Oceanográfica y fue desarrollado por Jakubovsky, consiste en lo siguiente; tomar en cuenta las distancias de cientos de kilómetros, tomando en cuenta el efectos distrubeante de la presión atmosférica, el viento, la temperatura, y densidad del agua marina, con tales datos Jakubovsky computó los movimientos verticales relativos de la corteza terrestre, tales como sismos y vol

canes, para los siguientes países; Finlandia, Polonia, Suecia, y Lituania, en la tabla 2 se muestra la computación de los movimientos verticales para las siguientes localidades Degerby y Hangö (Finlandia) Landsort y Kungsholmsfort (Suecia) Ustka (Polonia) y Baltijsk (Lituania).

TABLA 2.

	Degerby- Ustka	Landsort- Hangö	Kungsholmsfort- Baltijsk
Jakubovsky	5.2 ± 0.5	-0.3 ± 0.3	2.1 ± 0.3
Lisitzin/Montag	5.2	-	-
Rossiter/Montag	4.9	-	-
Rossiter		0.0	1.1

Hicks en 1973 dedujo los resultados de algunos casos en los que ocurrían cambios prolongados de los movimientos verticales en la corteza terrestre, tales cambios fueron de una magnitud de - 0.03cms/año para las costas de EE.UU, Hicks en 1968 observó los ritmos de las elevaciones telúricas o terrestres, las cuales eran muy prolongadas, también observó el rechazo elástico o tectónico de la actual deglaciación postwisconsin, ésta fue encontrada en el Cabo Bártlet y la bahía glaciaria en donde los ritmos de máximo empuje continental son aproximadamente de 4cms/año es en Ketchikan localizada una área de superficie pronunciados de empuje continental que ocurrió en la parte SE de Alaska.

2b.- FACTORES EUSTATICOS Y CRIOLOGICOS.

Los cambios eustáticos del nivel del mar, son explicados por una serie de fenómenos, como lo son la erosión, las capas de sedimentación de los fondos oceánicos, la fusión o formación de las masas de hielo continentales; el primer fenómeno es de carácter esporádico o sea que no ocurre constantemente, el segundo fenómeno

si ocurre constantemente. Como es de estimarse el efecto de estos fenómenos producen cambios en el nivel del mar, sin embargo algunos científicos no han evaluado la contribución de estos fenómenos al nivel del mar.

La investigación de las fluctuaciones del nivel del mar en arca y océanos, estas fluctuaciones se derivan de dos grupos de fenómenos eustáticos, estos dos grupos de fenómenos nos son procesos esporádicos como la sedimentación, la cual es medible. Las dos clases de fenómenos son los siguientes; 1 los fenómenos puramente Criológicos, 2 el examen de los cambios del nivel del mar a escala global.

El método Criológico es el de más dificultad, pero en dicho método se archivan las observaciones que estiman cambios en el volumen de las placas de hielo del Continente Antártico y su efecto sobre el nivel del mar es decisivo, en este caso son las masas del Continente Antártico las más grandes del planeta. Dichas masas se toman en cuenta dentro del total de hielo fundido que se localiza dentro de los mares y océanos del planeta, los cuales tienen un incremento de 100 m espesor, sin embargo se ha causado una catástrofe de extremas dimensiones por el incremento de los hielos fundidos. Las diferentes estimaciones del balance de las masas de hielo del Antártico, fueron realizadas en pocas décadas, esto va de acuerdo con King, quién identificó un incremento en el volumen del hielo, pero algunas de estas placas de hielo son estáticas, entonces solo es una suposición que se contrapone con la disminución del volumen del hielo.

El promedio de las masas de hielo en el Continente Antártico ha incrementado los procesos de carácter costero marino, por lo -

tanto las investigaciones referentes al nivel del mar muestran un incremento, entonces la actual situación del Continente Antártico está desequilibrada por la fusión del hielo continental en el Hemisferio Norte. Pero los procesos de fusión del hielo continental son bien establecidas por el calentamiento de la atmósfera y también por el calentamiento de los océanos, estos procesos son los factores que contribuyen en el incremento del nivel del mar.

En un período prolongado de tiempo el efecto glacio-eustático continuará siendo un problema que todavía no se ha solucionado.

Al fundirse las masas de hielo en el Hemisferio Norte se nota un lento incremento en el nivel del mar. Pero cabe hacer notar que el actual período es un período Interglacial, entonces en este caso el actual nivel del mar empieza a crecer, esto contradice la solución antes mencionada. El agua dentro de las placas continentales como es el caso de Europa y Norteamérica, dicha agua ha decrecido su nivel.

El primer autor que obtuvo los valores de elevación eustática en el nivel medio del mar fue Gutenberg en 1941, quien basándose en computaciones de datos del nivel del mar para 69 estaciones en 22 regiones, él llegó a la conclusión de la cantidad incrementada fuese de $1.1 - 0.8 \text{ mm/año}$. La probable desviación media es enunciada, la cual indica que los resultados no hayan ocurrido. Cuando los resultados de las computaciones efectuadas por Gutenberg se conocía la cantidad de agua originada por las masas de hielo continental, pues solo Thorarinsson en 1940 evaluó tales resultados de la cantidad de agua originada por los hielos continentales, pero de acuerdo a la fusión glacial, tal fusión causaría una elevación en el nivel medio del mar de 0.5 mm/año .

Dietrich en 1954 estudio extensivamente las variaciones del nivel del mar, las cuales fuesen de 1.14 ± 0.28 mm/año. Esberg obtuvo el valor de 1.14 ± 0.28 mm/año, el dedujo que tal valor es ocasionado por los movimientos verticales de la corteza terrestre.

Lisitzin verificó los resultados basados en computaciones de datos más completos referentes al nivel del mar.

En la Tabla 3 son reproducidos los promedios de las alturas del nivel medio del mar para computaciones durante un período de 10 a 20 años.

TABLA 3

1881-90	448.5	448.9	-3.7	-6.1
1891-1900	447.3	447.9	-4.4	-5.6
1901-10	447.8	447.6	-4.1	-4.2
1911-20	455.5	451.6	-2.0	-3.0
1921-30	453.4	454.4	0.4	-0.8
1931-40	455.2	454.3	-2.2	-0.9

La época para determinar un incremento glacio-eustático en el nivel medio del mar, todavía no se ha establecido bien.

Con la ayuda del método de los mínimos cuadrados se examinan los cambios del nivel del mar, sobre todo el incremento del nivel del mar en los puertos de Brest y Swinemünde, los cuales son determinados para el período anterior a 1891, sin embargo la elevación del nivel del mar es causada por la deglaciación continental y posiblemente por otros efectos eustáticos, los ritmos del incremento del nivel del mar son computados y son producidos por los movimientos eustáticos de la corteza terrestre en 1891, como la acumulación de sedimentos, en 1891 fueron determinadas las diferencias de los resultados computados para los siguientes períodos. Véase Tabla 4

TABLA 4

	For Brest	For Swinemünde
Antes de 1891	0.49 mm per year	-0.002 mm per year
Después de 1891	2.26 mm per year	-0.70 mm per year

Para todas las estaciones, los ritmos de los cambios del nivel del mar son determinados para los períodos anteriores y posteriores

de 1891, en base al método de los mínimos cuadrados, su comparación de este método con el método desarrollado por Gutemberg, el método de los mínimos cuadrados consiste en lo siguiente, toman en cuenta a las variaciones de nivel del mar (nivel medio del mar) durante un instante de tiempo, que incluyen años que pueden ser determinados con ayuda de las siguientes expresiones $(a-b)(n-m)$ en donde a es el promedio de la altura del nivel del mar durante un período de n años y el inicio del instante de tiempo para n años, b es la altura correspondiente, durante los n años. Al terminar el instante de tiempo, la desviación probable de ésta expresión es en su mínimo caso de $m=n/3$, los resultados son computados en la Tabla 5.

En la Tabla 5 indica las desviaciones obtenidas por los dos métodos, las cuales son muy pronunciadas.

Station	Period	A	B	Period	A	B	Differences	
							A	B
Lyökki	1858-1890	-6.8	-6.9	1891-1943	-6.0	-5.7	0.8	1.2
Jungfrusund	1858-1890	-4.8	-4.6	1891-1943	-3.6	-3.7	1.2	0.9
Swinemünde	1811-1890	0.0	-0.2	1891-1943	0.7	0.9	0.7	1.1
Brest	1807-1890	0.5	0.5	1891-1943	2.2	2.5	1.7	2.0
Marselles	-	-	-	1891-1943	1.3	1.3	(1.3)	(1.3)
Bombay	1878-1890	0.5	0.7	1891-1943	1.5	1.6	1.0	0.9

El incremento eustático del nivel del mar va de acuerdo con el método A ha sido determinado por los valores de 1.12 ± 0.36 mm/año, y la contribución correspondiente a el método B, con los valores de 1.23 ± 0.41 mm/año, la partida que hay entre los resultados retrasados y los resultados obtenidos por Gutemberg no son pronunciados.

La probable desviación puede ser más pronunciada que la obtenida por Gutemberg.

El incremento eustático del nivel del mar no es llevado a cabo por la deglaciación continental, la cual no es estrictamente continua, pero es posible que los períodos más caracterizados por la regresión de las masas de hielo han de ser interrumpidas por varios años, tiempo suficiente para que las placas de hielo incre-

manten su volumen. Por eso hay algunas indicaciones de un cierto retardo del incremento del nivel medio del mar en los años recientes, el promedio nunca es exacto, sin embargo hay una tendencia pronunciada de los datos computados por diferentes autores, algunos de estos datos son computados y recibidos por diferentes métodos, véase en la tabla 6, la cual muestra el valor promedio del incremento del nivel medio del mar, el cual es determinado por diferentes autores con sus respectivas cantidades obtenidas de 1.0 - 1.1mm/años.

En el orden que se obtienen los ritmos aproximados de las elevaciones continentales y las zonas de subsidencia, esto está en corrección más sustraída de los datos que representan las variaciones seculares.

TABLA 6

AUTOR	RESULTADOS COMPUTADOS	METODO
Thorarinsson (1940)	0.5 or more	cryological aspects
Gutenberg (1941)	1.1 ± 0.8	great amount of sea-level data
Kuenen (1950)	1.2 - 1.4	combining different aspects
Lisitzin (1958b)	1.12 ± 0.36	sea-level data for six stations
Wexler (1961)	1.18	cryological estimates
Fairbridge (1961)	1.12	sea-level data

2c.- TSUNAMIS.

El Tsunami es causado por un sismo marino o por una erupción volcánica.

El Tsunami es una ola u onda con una gran pendiente en la cresta.

Los Tsunamis incluyen en el nivel del mar. A esto se ha investigado el nivel del mar dentro del estudio de las mareas antes y en el instante de la llegada de la onda Tsunami, que es el único indicio de éste fenómeno o sea el Tsunami.

Las mareas de afloramientos o arqueamientos producidos por la marea empiezan a ocurrir y dan escenarios complicados los cuales

les han de ser similares a las regiones costeras, que se presentan los saiches, los cuales interfieren los trenes sucesivos de ondas Tsunamis, algunas veces pueden llegar por diferentes caminos o indicios. Teóricamente el Tsunami es una onda que influye en los períodos prolongados en los procesos y siguiendo la ley del movimiento de la onda en aguas bajas, en las cuales implica el tiempo de propagación, el cual es determinado por la siguiente ecuación (13) $V = \sqrt{g \cdot h}$ en donde h es la profundidad del mar, g es la aceleración de la gravedad, para las oscilaciones del nivel del mar que ocurre retrasadamente en las marcas de las mareas, se obtiene la relación que hay entre la velocidad y el período.

En adición a esto siempre se guardan las observaciones que marcan los rangos de la onda Tsunami y que se interponen para las mareas y por una posible contribución meteorológica del nivel del mar.

La energía de la onda de Tsunami es aproximadamente estimada desde las mareas del nivel del mar, la ecuación que se usa para determinar la energía es la siguiente (14) $E = \pi \rho g v R \sum \alpha^2 T$

En donde ρ es la densidad del agua marina, R es la distancia de la zona que origina el Tsunami, α es la amplitud de oscilación, T es la mitad del período, v es la velocidad del movimiento, g es la aceleración de la gravedad, π es una constante. La energía supuestamente emitida es simétricamente en todas direcciones.

En efecto del Tsunami sobre el nivel del mar y sus fluctuaciones, los terremotos son causados por una considerable elevación o subsidencia del fondo del mar en el área que rodea sus epicentros.

Los movimientos verticales de la corteza terrestre pueden influir en el nivel del mar, por el cambio de altura de los arcos y afloramientos que operan en las regiones costeras del área afectada.

tado. Yamaguti en 1965 puso especial atención a los cambios anteriores y referentes a la altura del nivel del mar, después del gran terremoto de Niigata, que fue de una magnitud de $M=7.5$ en la escala de Richter, el cual ocurrió el 16 de junio de 1965, pudo ser de interés desde el punto de vista de las investigaciones del nivel del mar, el recopiló los principales rastros o indicios de las fluctuaciones concernidas al nivel del mar.

Las mediciones de los elementos necesarios, como lo son la línea Estándar de las mareas y en el nivel del mar, fueron realizadas en el mes de junio, con el tiempo aproximado de 45hrs., antes de la ocurrencia del terremoto de Niigata en la costa N de Nezugaseki en la Isla de Hondo situada a 40 km del epicentro del terremoto, el nivel medio del mar de ésta estación se incrementó porque fue de 113.3 cms en las 45hrs., como consecuencia de las ondas Tsunamis que se presentaron en la bahía de Nezugaseki, durante un tiempo aproximado de 6 hrs. después de la ocurrencia del Tsunami.

En adición a esto, es de interés mencionar los resultados archivados de las observaciones realizadas por Hicks en 1972, en relación a los niveles del mar de preterremotos y posterremotos y las observaciones de mareas referida al terremoto que ocurrió en Alaska en 1964, causado por factores como los movimientos verticales de la corteza terrestre que producen mayores dimensiones.

Los cambios en las constantes armónicas de las mareas se limitarán a una variabilidad normal. Las características anarmónicas de las mareas son las desigualdades medias en aguas someras y en aguas bajas y los intervalos medios de aguas someras y aguas bajas no difieren significativamente.

Los resultados son constantemente en la tierra y responden a las fuerzas productoras de mareas.

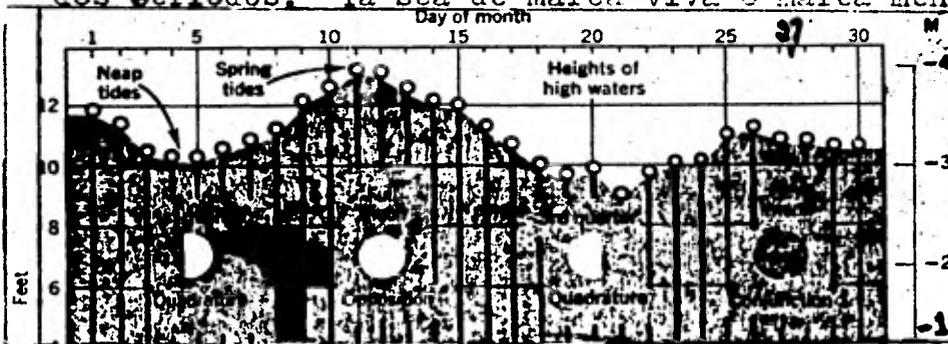
CAPITULO V

CLASIFICACION DE LAS MAREAS

1) TIPOS DE MAREAS.

Los tipos de mareas son producidas por el tiempo, por el movimiento lunar, el cual influye en el rango de la marea; los tipos de marea son los siguientes. 1.- Tipo Sinódico. 2.- Tipo Anomaliístico. 3.- Tipo Declinacional. 4.- Tipo Mixto.

1.- Tipo Sinódico: Se caracteriza por la mayor variación en rango, y también ocurre un cambio en la fase de la luna. Las mareas vivas ocurren en luna nueva, las mareas muertas o menguantes ocurren en los cuartos creciente y menguante, a causa de las dos mitades del mes sinódico desaparece la desigualdad de alguno de los dos períodos. Ya sea de marea viva o marea menguante.



(Gráfica 1)

Muestra las mareas de tipo sinódico

En la cual muestra el establecimiento de algunos de los tiempos, como el tiempo local, y también da una gran información acerca de la marea local.

El establecimiento es el intervalo de tiempo que haya entre el paso meridional de la luna nueva y la ocurrencia de las aguas someras, este intervalo de tiempo se denomina intervalo de luna-marea. En el intervalo de tiempo que hay entre el paso meridional de la luna el cual sigue la variación en aguas someras durante el mes sinódico. Entonces el establecimiento o tiempo local es un valor par-

En algunas localidades la desigualdad diurna puede influir - sólo en las aguas someras y en las elevaciones de las aguas bajas, las cuales siempre permanecen iguales.

En regiones en donde las mareas son de Tipo Declinacional la declinación del sol a de marcar su influencia y la desigualdad - a de ser similar a la desigualdad lunar siendo 0 en los equinoc-- cios y el máximo en los solsticios.

4.- Tipo Mixto: En la mayoría de las localidades es imposible ca- racterizar a las mareas de este tipo, las cuales son puramente - sinódico-anomalísticas y declinacionales. Pero a causa de la com- binación de todos estos factores se producen las mareas mixtas o ma- reas combinadas, de acuerdo a su período pueden ser predominate- mente diurnas, o predominantemente semidiurnas.

b) CLASIFICACION SOVIETICA DE LAS MAREAS.

Hay diferentes formas de mareas dentro del Océano mundial, - las cuales podemos clasificar en una cantidad pequeña de tipos ca- racterizados por algunas particularidades. La clasificación Sovié- tica considera los siguientes parámetros: la cantidad de pleamares y de bajamares en un día lunar, el carácter de las desigualdades y la simetría en el tiempo o duración de subida y de bajada.

Se encontró que estos parámetros pueden ser determinados en - conjunto por las relaciones entre las amplitudes de las componen-- tes principales, como lo son las diurnas y semidiurnas, que se obtie- nen con ayuda del análisis armónico.

En la tabla de las mareas, por su carácter, se dividen en cua- tro tipos principales, dependiendo del valor de relación que hay - entre la suma de las amplitudes de las dos componentes diurnas K_1 y O_1 y la amplitud de la onda semidiurna principal M_2

$$R = \frac{H_{K_1} + H_{O_1}}{H_{M_2}} \quad (\text{ecuación 1})$$

Sí la relación es muy pequeña y no sobrepasa el valor de 0.5, entonces las mareas se consideran semidiurnas. Pero sí la relación mostrada sobrepasa el valor de 4.0 entonces la marea se considera diurna. Los valores intermedios nos determinan a las mareas mixtas, en la tabla 3 se muestra los límites de la relación para los diferentes tipos de marea.

TABLA 1.

Tipo de marea		Valores límites de R
Semidiurna	Predominantemente semidiurna	$0.0 < R < 0.5$
Mixta	Predominantemente diurna	$0.5 < R < 2.0$ $2.0 < R < 4.0$
Diurna		$4.0 < R$

Aparte de los cuatro tipos mostrados en la tabla existen algunos tipos secundarios que se presentan como casos anómalos o sea que rara vez se presentan en la naturaleza:

1) Semidiurna solar, 2) semidiurna paraláctica, 3) semidiurna de aguas bajas, 4) semidiurna doble o (cuatridiurna), 5) bore (poborca, mascaré, barr).

1.- Semidiurna solar: Las mareas solares semidiurnas tienen un período igual a la mitad de un día medio, esto es 12hrs., por esta razón se observan en ellas la pleamar y la bajamar a las mismas horas del día. Este tipo de mareas es muy raro. Un ejemplo lo constituye la localidad de Cotabaru (en la isla de Taut frente a las costas sur de Borreo y Eyre, y la costa sur de Australia.

2.- Semidiurna paraláctica: Las mareas semidiurnas paralácticas son aquellas en las cuales la desigualdad semimensual está determinada principalmente por la desigualdad paraláctica de la luna.

Este tipo de mareas es extremadamente raro. Un ejemplo de ella - lo es el Golfo de Crest (en el Mar de Behring).

3.- Semidiurnas de aguas bajas: Estas mareas se caracterizan por su simetría en las etapas de elevación y descenso del nivel del mar. Este tipo de marea es bastante común; un ejemplo lo constituye la marea de Kem (en el Mar Blanco) y Shanghai (en el Mar del Sur de China).

4.- Semidiurnas dobles o también llamadas cuatridiurnas: Ellas se caracterizan porque se observan cuatro pleamares y cuatro bajamares en un día. Como ejemplo mencionaremos las estaciones Zimna ya Zolotitza en el Mar Blanco y Southampton, Inglaterra.

5.- Bore: El efecto del bore se observan en las desembocaduras de los ríos y es un ejemplo de la deformación extrema de las mareas a causa de las aguas bajas y reforzada por la acción del frenado del flujo del río y las particularidades morfológicas de la región, en especial por el angostamiento del cauce. Bajo la acción de todos estos factores, la duración de subida del nivel del mar se reduce casi a cero y la marea se propagará río arriba en forma de una onda o varias, con un frente destructivo y con la brusca elevación del río. Unos ejemplos de éstos son: en el Río Amazonas (en donde recibe el nombre de paroroca) en donde alcanza de 3.5 a 4.5m; en el Río Severn en Inglaterra (Bore); en el Río Ganges en la India (barr); en Ríos Garona y Sena en Francia (ahí se le denomina mascaré) y el Río Tzientang-Kiang en China.

c) CLASIFICACION FRANCESA DE LAS MAREAS.

Otra clasificación de los tipos existentes de marea es la propuesta por Curtié en 1938. Dicha clasificación está basada en la

relación que hay entre la suma de las constantes armónicas $K_1 + O_1$ diurnas y las semidiurnas M_2 y S_2 de la cual se deduce la siguiente ecuación $F = \frac{K_1 + O_1}{M_2 + S_2}$ (ecuación 2)

Esta relación nos da la condición de igualdad y nos da una idea - sobre la forma de la curva de la marea durante un día. Sin embargo no es posible determinar fronteras precisas entre las condiciones de igualdad en diferentes puntos para afirmar que en una región existen exclusivamente mareas semidiurnas y en la otra diurnas. Esto se explica porque la condición de igualdad es realmente y únicamente para un período corto de tiempo que es el de las mareas diurnas y semidiurnas de sicigia y después del paso de la luna por su mayor declinación. De acuerdo con esta relación las mareas se clasifican en los siguientes tipos; semidiurnas, mixtas predominantemente diurnas, mixtas predominantemente semidiurnas, y diurnas.

$0 < F < 0.25$ mareas semidiurnas. En cada día lunar se observan dos pleamares y dos bajamares con alturas aproximadamente iguales. El tiempo de presentación de la pleamar se realiza después del paso de la luna por el meridiano, el cual siempre es el mismo. El rango medio de marea de sicigia es igual a $2(M_2 + S_2)$. (ecuación 3).

$0.25 < F < 1.5$ marea mixta predominantemente semidiurna.

En cada día se presentan dos pleamares y dos bajamares, pero con diferencias en altura y en tiempo, alcanzando su máximo en el período en que la luna alcanza su máxima declinación. El rango medio de la marea de sicigia es igual a $2(M_2 + S_2)$.

$1.5 < F < 3.0$ marea mixta predominantemente diurna.

Por algún tiempo se observa únicamente una pleamar en el día y justamente después de la mayor declinación de la luna. Con el paso de la luna por el ecuador se observan dos pleamares diarias, registrándose además grandes desigualdades en la altura y en el tiempo

po de presentación, especialmente después del paso de la luna por el ecuador. El rango medio de sicigia es de $2(K_1 + O_1)$.

$T > 3.0$ mareas diurnas.

En un día se observa siempre una pleamar y una bajamar. En cuadratura cuando la luna pasa por el ecuador se puede apreciar dos pleamares. El valor medio de la marea de sicigia es igual a $2(K_1 + O_1)$.

CAPITULO VI

ANALISIS ARMONICO Y METODOS PARA PREDECIR LAS MAREAS.

a) ANALISIS ARMONICO.

Parte de los siguientes argumentos, la marea de equilibrio-- está determinada por las siguientes relaciones que son las ecuaciones (1) (2) que más adelante mencionaremos. La forma de un esferoide parecido a una pelota de football en cuyos ejes coinciden con los ejes de rotación de la tierra y cuya rotación relativa de la tierra produce la marea de equilibrio, en su naturaleza admite variaciones con el tiempo y particularmente en la superficie terrestre, ésto no es obvio porque al analizar el carácter de esta variación de las mareas es conveniente expresar el ángulo zenital de la luna en términos de coordenadas geográficas; los términos de las coordenadas geográficas θ y φ de un punto de la superficie de la tierra (en donde θ es la colatitud, φ es la longitud E.), D es la declinación, α es el ángulo horario al W. del meridiano de Greenwich. Esto es cuando la marea de equilibrio es expresada por la suma de 3 términos de la ecuación (1) en donde a es el radio de la tierra.

$$\bar{\psi} = \frac{3}{4} \cdot \frac{\gamma M}{g} \cdot \frac{a^2}{c^2} \left[(3 \sin^2 D - 1) (\cos^2 \theta - 1/3) + \sin 2\theta \cos(\alpha + \varphi) + \cos^2 D \sin^2 \theta \cos 2(\alpha + \varphi) \right] \quad (\text{ecuación 1}).$$

El primer término representa a una marea parcial la cual es casi simétricamente a los ejes de rotación de la tierra; esto es independientemente de la longitud, pues sólo la variación del tiempo

resulta de la variación de la declinación lunar y la distancia que va desde la tierra. A esta marea se le denomina Marea de período largo.

La actual forma o modelo geográfico de la tierra se asemeja a un esferoide en cuyos ejes coinciden con los ejes de rotación de la tierra y cuya rotación continuamente varía.

El segundo término de la ecuación 1 representa a una marea parcial que ha de tener en cualquier instante elevaciones máximas en las latitudes de 45° N y 45° S en ambos lados opuestos de la tierra y las elevaciones mínimas son similares y van alternando las posiciones que son similares a un gran círculo que pasa a través de los polos. Debido a que el factor $\cos.(\alpha + \varphi)$ de la marea, la rotación de la tierra se efectúa en una dirección relativa hacia el W y en cualquier posición geográfica experimenta una completa oscilación en un día lunar y en el tiempo que tarda para que se incremente por la cantidad de 2π .

Consecuentemente esta marea parcial es denominada Marea Diurna a causa del factor $2D$ la marea de equilibrio sucede en el instante que pasa por el Ecuador la luna, a causa del factor 2θ no hay equilibrio diurno en la fluctuación de la marea, tanto en el ecuador como en los polos. El tercer término de la ecuación 1 es una marea parcial que ha de tener en cualquier instante dos elevaciones máximas en el ecuador y en los extremos opuestos de la tierra, alternándose separadamente por dos elevaciones mínimas en el ecuador esto es lo que sucede. La completa rotación relativa de la tierra se efectúa hacia el W, pero cualquier posición geográfica en la tierra experimentará dos ciclos durante este tiempo, esto es debido al factor $2(\alpha + \varphi)$. Consecuentemente esta marea es denominada Marea Semidiurna debido al factor $\text{sen.}^2\theta$, no hay equilibrio semi-

diurno de las fluctuaciones de esta marea en lo que se refiere a los polos, mientras que la fluctuación en el ecuador se efectúa acentuadamente.

Es muy conveniente considerar a la marea de equilibrio que es una suma de un número de términos denominados constituyentes de los cuales han de tener una simple forma o modelo geográfico de la tierra que varía armónicamente con el tiempo. Estas bases son para el desarrollo armónico de las mareas. En un gran número de fenómenos de marea pueden ser adecuadamente descritos por un dibujo, y el efecto de cada constituyente armónica puede ser superpuesta por los efectos de otras constituyentes, de ahí que es una gran ventaja el método armónico dentro de los problemas de las mareas. Hay tres términos de la ecuación 1 que no varían con el tiempo sino que son puramente armónicos; los parámetros C y D varían y el rápido incremento puede hacerse constante el ritmo que se debe a la elipticidad y a otras irregularidades de la órbita de la luna.

Actualmente las tres mareas parciales pueden ser separadas dentro de las especies de las constituyentes armónicas. Las constituyentes de cualquiera de las tres especies se localizan en la forma o modelo geográfico de la tierra, pero de diferentes períodos, amplitudes y épocas.

La marea solar es desarrollada de alguna forma, pero antes de las tres especies de constituyentes de período largo, diurnas y semidiurnas. La marea de equilibrio en cualquier lugar es la suma de ambas o sea de las mareas solar y lunar. Pero cuando el sol y la luna están cerca de alguna posición aparente en el cielo (entonces aparece la luna nueva) y cuando los efectos solar y lunar se fortalecen en cada una de las tres especies, entonces esta condición se denomina "Marea Viva", durante las mareas vivas las constituyentes lunar principal y solar principal están en la fase cuada

turo, y el efecto solar se anula pues solamente se produce el efecto lunar, las constituyentes lunar principal y solar principal estan fuera de fase, entónces a esta condición se le conoce con el nombre de "Mareas Muertas o Menguantes".

La marea que es integramente de equilibrio se determina con la siguiente ecuación:

$$H=3 \gamma \frac{a^2}{gc^3} = 54 \text{cms} = H \left[1,2 (1-3\cos^2\theta) \sum_L F_i C_i \cos A_i + \sum_D F_i C_i \cos (A_i + \varphi) + \sum_S F_i C_i \cos (A_i + 2\varphi) \right] \text{ ecuación \#(2)}$$

En donde $1/C$ que representa el valor medio en el tiempo de $1/C$. Cada término se representa en la parte superior y representa a la series de una constituyente, los términos referentes a la luna son de su paralaje que no esta incluida en la ecuación 2 a causa de su diferente dependencia de la latitud geográfica pero es de relativa importancia. Los términos suscritos L, D y S indican la sumación con las constituyentes de período largo, diurnas y semi-diurnas respectivamente.

C_i es el coeficiente de la constituyente y es constante para cada constituyente. Cierta cantidad de la fuerza relativa de todas las constituyentes lunares y solares.

Un desarrollo purante armónico fue llevado a cabo por A. T. Doodson en 1921, las partes A de los argumentos incrementados linealmente con el tiempo y los factores nodales (F). George Darwin en 1882 desarrolló el analisis semiarmónico de las constituyentes que estan sujetas a un cambio en la amplitud y época con 19 años del ciclo nodal de la luna.

Los factores nodales F son tomados dentro de la variación lenta y del coseno. La variación lenta se refiere a el ciclo nodal.

A_i es el incremento semilineal en función al tiempo, las tablas de la publicación 98 de la U.S. Coast and Geodetic Survey, en ellas -

se computan la fase del argumento de cualquier constituyente de Darwin y a cualquier tiempo los valores nodales son para cada año.

Tabla 1 de las constituyentes de Darwin.

<i>Constituyente</i>	<i>Velocidad o/hr</i>	<i>Cóeficiente</i>
<i>De Período Largo</i>		
<i>M₂ Lunar Semimensual</i>	<i>1.098</i>	<i>0.157</i>
<i>S₂ Solar Semianual</i>	<i>0.082</i>	<i>0.073</i>
<i>Diurnas</i>		
<i>K₁ Luni-solar</i>	<i>15.041</i>	<i>0.530</i>
<i>O₁ Lunar larga</i>	<i>13.943</i>	<i>0.377</i>
<i>P₁ Solar larga</i>	<i>14.959</i>	<i>0.176</i>
<i>Semidiurnas</i>		
<i>M₂ Lunar Principal</i>	<i>28.984</i>	<i>0.908</i>
<i>S₂ Solar Principal</i>	<i>30.000</i>	<i>0.423</i>
<i>N₂ Lunar elíptica larga</i>	<i>28.440</i>	<i>0.176</i>
<i>K₂ Luni-solar</i>	<i>30.082</i>	<i>0.115</i>

En lugar de tener muchas ventajas el desarrollo puramente armónico, Darwin desarrolló el método usado por muchas agencias que se encargan del trabajo de las mareas.

En la clasificación cada constituyente es representada por un símbolo y una suscripción numérica de 0, 1 y 2 estas son las designaciones de las constituyentes como la de período largo, diurna y semidiurna, algo de lo más importante de las constituyentes de Darwin son las que están enlistadas en una tabla, en la que los períodos de todas las constituyentes son las semidiurnas y son agrupadas a las 12hrs. y a los períodos diurnos son de 24hrs., los resultados

son obtenidos y se toma en cuenta la rotación de la tierra y las revoluciones de la luna alrededor de la tierra, así como las revoluciones de la tierra alrededor del sol.

La constituyente lunar principal semidiurna M_2 se caracteriza por una elevación que modula la forma de la onda en donde varía la fase de la luna (o sea el efecto marea viva y menguante) y la distancia es similarmente a la amplitud de la onda diurna modulada que va variando con la declinación solar y la fase lunar; por ejemplo - la marea viva de luna llena o la de luna nueva son manifestadas - por las constituyentes M_2 y S_2 siendo la fase su reforzamiento de la otra o sea S_2 o solar principal; la marea muerta o menguante - diurna ocurre cuando la luna esta en cuadratura y entónces las otras variaciones se refieren a la intensidad de la marea que es similarmente reflejada en el abatenimientode otros grupos de constituyentes.

b) METODOS PARA PREDECIR MAREAS.

bi.- Método Inarmónico: El Dr. Lüblock en 1939 fue el primero que desarrolló el método inarmónico basándose principalmente en el uso del tiempo y las alturas de las aguas someras y bajas y tomando el menor número de alturas horarias y especialmente tomando las que es tan dentro del conteo y los intervalos luna-marea; de acuerdo con varios procedimientos de diferentes tiempos "establecidos", teóricamente son basados principalmente por las componentes semidiurnas y solo se pueden usar ventajosamente para los puertos en los cuales la desigualdad es pequeña, pero si esta desigualdad es grande, entón ces el número adicional de correcciones son referidas para obtener resultados de éste método o sea método inarmónico. El cual es basado en la ecuación 1 en donde se tiene una superposición lunar semi diurna y con respecto a la marea solar semidiurna. Para la teoría -

En equilibrio en realidad la marea retrasada va en contra de la rotación del cuerpo celeste el cual se introduce por el número de la ecuación 1 que es reemplazada por la ecuación 2 .

$$h = A \cos [2\theta(\psi - \alpha) - x] + A' \cos [2(\theta - \alpha) - x]$$

Los valores con literales primas son para el sol respectivamente, θ es el tiempo sidereal α α' son las ascensiones rectas de la luna y el sol respectivamente de donde tenemos a $\tau = \theta - \alpha$ y $\tau' = \theta - \alpha'$ entonces es la diferencia de los ángulos horarios de la luna y del sol al mencionar a $2\tau = 6M T$ y $2\tau' = 6S T$ en la cual $6M$ y $6S$ son las frecuencias semidiurnas de la marea lunar y la marea solar respectivamente $\tau/15^\circ$ el tiempo expresado en horas lunares $\tau/15^\circ$ son las horas solares de donde se deduce la siguiente

ecuación 3
$$h = A \cos [2(\tau - \psi) - x] + A' \cos [2\tau' - x]$$
 los dos

términos de la derecha pueden ser contratados del coseno como miembro de una variable de amplitud y fase de la cual se obtiene la siguiente ecuación 4
$$h = A \cos \left[2 \left(\tau - \psi - \frac{x}{2} + \beta \right) \right]$$
 $\psi = \alpha - \alpha'$

$$C = [A^2 + A'^2 + 2AA' \cos 2\psi]^{1/2} \quad \text{tang } 2\beta = \frac{A \sin 2\psi'}{A + A' \cos 2\psi'} \quad \psi' = \frac{x - x'}{2}$$

Pero cuando la luna pasa a través del meridiano local entonces la distancia angular del sol ψ , el tiempo es de $\tau/15^\circ$, pero la distancia angular en aguas someras es causada por la luna la cual se deduce con la siguiente expresión $\psi + 1/2(x - x')$ en donde x' es constante pero varía de $0.5080^\circ/h$ y 12.192° o sea $0.81^\circ/h$ al día y $\psi = \tau - \tau' = 1/2(6M - 6S) = 15^\circ - 14.492^\circ = 0.508^\circ$ la variación de $2\psi'$ y

B de la cual se hace periódica entonces se deduce la siguiente ecuación (5)
$$2\psi' = (6M - 6S) \left[t - \frac{x' - x}{6S - 6M} = \frac{2\pi(t - E)}{14.77 \text{ días}} \right]$$

Si E es igual a $0.041(x' - x)$ entonces representan la edad de la marea en la ecuación 4 obtuvimos el tiempo para aguas someras

entonces ahora obtendremos la ecuación (6)

$$1/15^\circ \left[\psi - \frac{X}{2} - \frac{1}{2} \arctan \frac{A' \sin 2\psi'}{A + A' \cos 2\psi'} \right]$$

En el tercer término representa los puntales de una desigualdad semimensual, esto es el tiempo de luna llena y luna nueva ~~es el tiempo de aguas someras~~ es el tiempo de aguas someras $= 1/30^\circ \left[X - \arctan \frac{A' \sin(\frac{+}{-}(x-x'))}{A + A' \cos(\frac{+}{-}(x-x'))} \right]$

esta es la ecuación 7. En esta aproximación exacta del tiempo local de altamar en luna llena y en luna nueva, dicha aproximación es denominada como el establecimiento vulgar de lo contrario se deduce la ecuación 8 $\frac{X}{M} = \frac{X}{30^\circ}$ es corregida y establecida en el intervalo

luna-marea de aguas someras. Determinando el establecimiento vulgar el cual es muy simple y consecuentemente es conocido en muchos puertos, al contrario la computación de los establecimientos corregidos para observaciones requeridas continúan la desviación de los valores individuales del intervalo luna-marea por cantidades considerables, pero la gran ocurrencia es obtenida por cada día del período lunar de acuerdo al intervalo luna-marea en la ecuación 8 la cual da la deriva estadísticamente hablando desde observaciones grandes o de largo período. De las expresiones para C dentro de la ecuación 4 la cual da el tiempo de la marea viva (tiempo de ocurrencia de la marea viva) es igual a $C = A + A'$, $2\psi' = 0$ desde la cual el tiempo de marea viva = al día o sea antes que ocurra la luna llena y la luna nueva la edad de la marea se determina con la ecuación 9 o sea la anteriormente expresada.

Si Z_0 es la elevación del nivel medio de la marea sobre la carta o datum, o plano de referencia, la elevación de aguas someras es igual $Z_0 + C =$ aproximadamente a $Z_0 (A + A' \cos 2\omega')$.

La elevación de aguas bajas $= Z_0 - C =$ aproximadamente $Z_0 - (A + A' \cos 2\omega')$ ecuación 10.

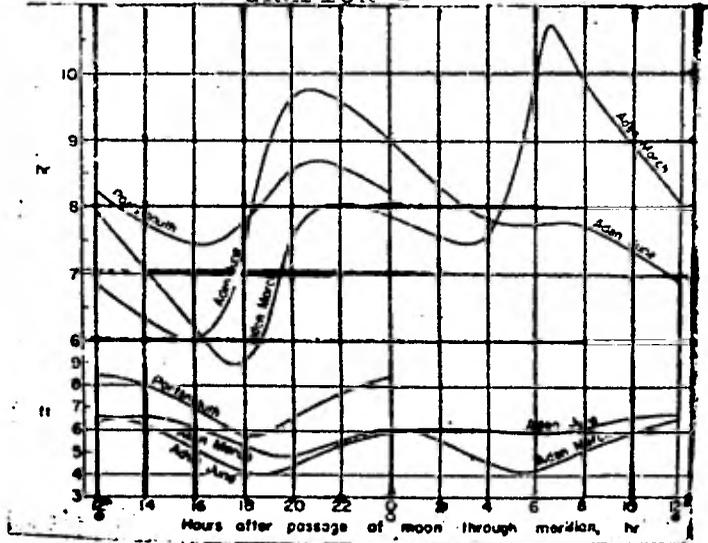
Se puede ver que desde la ecuación 4 a la 10 que el intervalo

luna-marea y el tiempo solar exacto referente al tránsito de la luna por el meridiano para un día conocido. Pero de todos estos factores a determinar la marea semidiurna y su lejanía de la cual depende el simple movimiento orbital de un cuerpo celeste disturbante en el plano ecuatorial, por doquiera que se encuentren los valores ordenados y básicos para computar y compararlos con los actuales, éstos son corregidos por la influencia de la paralaje de la luna y del sol los cuales son diariamente desiguales, estas correcciones varían con la declinación de los cuerpos disturbantes, por esta razón se puede proceder sólo a ser aplicado en donde la desigualdad diurna es muy pequeña (en el caso del Océano Atlántico Norte). Consecuentemente siguiendo las reglas que pueden ser aplicadas para la computación del tiempo y la elevación de las aguas someras = tiempo de agua somera = tiempo solar exacto de culminación de la luna + el intervalo luna-marea + la corrección por declinación + la corrección por paralaje + la desigualdad diurna - la ecuación del tiempo.

La elevación de aguas bajas = la elevación de aguas someras - sobre la carta o plano de referencia + la corrección por declinación + la corrección por paralaje + la desigualdad diurna.

Las correcciones deberían tomarse para la luna y para el sol son muy pequeñas y pueden ser inhibidas. El intervalo luna-marea es igual al intervalo luna-marea de la desigualdad semimensual, para ciertas tablas de ciertos puertos y gráficamente para la actual computación, un ejemplo lo es cuando nos referimos a las curvas de los intervalos para los siguientes puertos de Portsmouth y Aden para tener sus características referentes a las mareas semidiurnas.

GRAFICA 1



En la gráfica 1 muestra las horas después del paso de la luna a través del meridiano, también muestra las curvas de intervalo de luna-marea y rango para los puertos de Portsmouth y Aden.

La desigualdad diurna es fuertemente notable de donde la fuerza y la diferencia del día y la noche son realizadas cuando termina el tiempo y la elevación en el puerto de Aden, por un instante - en el mes de marzo de 1889 el dato particular referente a los tránsitos de la luna a través del meridiano local, después de las 12pm, la curva da el intervalo luna-marea con un tiempo de 18hrs 4min., - la corrección para el paralaje lunar fue de dos minutos y cuando en aguas someras ocurrieron de 20 a 17 hrs. en la tabla en la cual se dan las elevaciones para aguas someras se obtiene el siguiente dato: 6.89 ft = 210cm. la corrección fue de 5cm. y la corrección de elevación de aguas someras fue de 2m.15cm. actualmente no hay muchas - tablas de marea las cuales sean usadas y sean muy prácticas como en la tabla 3 que más adelante veremos en el subtema Máquinas para Predecir Mareas.

b2.- Método de Estaciones de Referencia: Este método se determina con los siguientes argumentos. En lugar de computar extensas tablas referidas a el tiempo, a las alturas y aguas bajas y someras para las localidades costeras las cuales pueden ser numerosas y para detalles de observaciones de mareas que son generalmente evaluables, pero en esta método sólo se aplica a cierto número de puertos seleccionados en las tablas de marea sólo contienen predicciones detalladas de aguas someras y bajas para todos los tiempos y alturas de ciertas localidades referidas. Si las elevaciones sincrónicas de las mareas son evaluadas con cierto período de tiempo para dos localidades dentro de alguna arca de marea y el promedio de las diferencias de marea en cuanto al tiempo y altura entre las localidades puede ser aceptado, pero serán observadas estas diferencias siempre que permanezca alguna constancia.

La curva de marea de la estación subordinada es similar a la de estación de referencia, las diferencias en el tiempo y las diferencias entre aguas someras y bajas se hacen casi constantes entre las dos estaciones, y una estación puede servir de referencia para un gran número de localidades y la diferencia de marea de cierta localidad es la diferencia determinada por la diferencia de tiempo establecido que existe entre las estaciones de referencia y subordinada la cual es corregida por la diferencia de longitud que es expresada en unidades de tiempo.

La computación de las mareas para la estación subordinada es simplemente realizada por la adición de la diferencia de marea a los valores de marea de la estación de referencia válida para un día en particular, la cual puede ser terminada en las tablas computadas de avance; en la práctica las tablas serán dadas en todas las aguas someras y bajas y con sus respectivos tiempos. Hay una tabla para cada estación de referencia y otra para cada estación

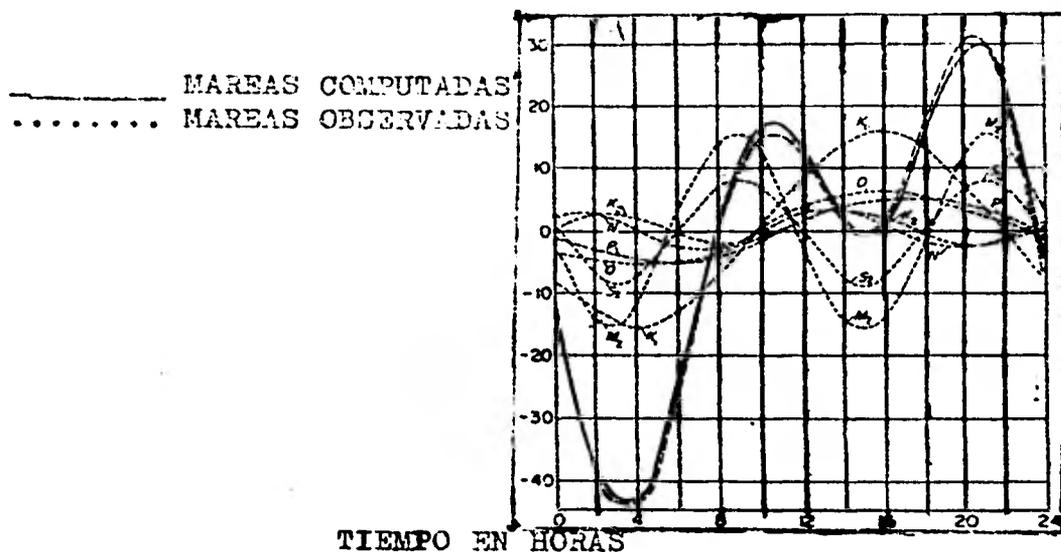
subordinada en donde la diferencia de amplitudes y de tiempos son para aguas someras y bajas, posteriormente hay otra tabla que da las correcciones para la amplitud y el tiempo las cuales son aplicadas a las mareas vivas y menguantes. Este método es particularmente para las mareas de tipo semidiurno y es menos usado para las mareas mixtas de donde ocurre el promedio en horas y los errores en altura son completamente grandes.

b3.- Método Armónico: Este método es dado por una tabla de mareas (comunes) que generalmente sólo la altura de las mareas y el tiempo de aguas bajas y someras son computados para determinar alguna ocurrencia de estas alturas para todas las horas. Tomando en cuenta que el incremento ocurre conociendo la profundidad del agua oceánica es suficiente para resolver correctamente un gran número de problemas. En este método armónico computado se van eliminando las deficiencias de las mareas; la teoría dinámica del análisis armónico de las mareas, las cuales se muestran en una localidad dada y puede ser considerada como una combinación de un gran número de constituyentes de mareas con un amplitud y fase constantes.

Han de ser computadas dentro del análisis armónico de las mareas las cuales son localizadas en las costas, para las componentes más importantes dichas componentes se caracterizan y valen para las componentes más importantes para los mares de una localidad sin cualquier cambio referente a un período largo de tiempo; nada se prevee por la computación de cualquier componente de marea para un día dado del año y la suma de todas las mareas parciales, dados los procesos de marea para un día y bajo cierta consideración dada para cada hora y altura del nivel de referencia del agua en la carta (o sea el plano de referencia o datum). Si Z_0 es la altura media del nivel del mar sobre la carta (datum) entonces la altura del

agua es H (sobre la carta) y el tiempo es dado por H de donde $H =$
 $20 + \sum A_i - \cos U_i$ en donde A_i es la amplitud de la marea parcial
y U_i es igual a $\omega t + T_i + P_i$ en la cual ω es la frecuencia de la
marea parcial, T_i es el ángulo del cual la marea ha ido restando
de la localidad, pero en el día consiguiente a las 0 hrs. (T_i es su-
incrementado en las 24 hrs.) y P_i es la fase de la marea, el número
negativo X de la componente de marea corregida por el tiempo local.
 $P_i + P_i$ es el ángulo local de la marea el cual va considerando al
día y a las 0 hrs.: si A_i y P_i son dadas a las componentes por el
ángulo armónico entonces H puede ser computada para cualquier día
si la función de T_i la cual puede ser tabulada para muchos días del
año. Estas computaciones son para un gran número de días y son muy
extensivas (véase en las máquinas para predecir mareas) estas ofre-
cen grandes ventajas para permitir la comparación de la marea pre-
decida con la marea actual, esto es teóricamente muy instructivo.
Estas comparaciones son realizadas y son posibles a examinarse a
través de la influencia de la presión del aire y el viento sobre el
nivel del mar en un puerto con fuertes mareas (véase en la gráfica 2)
en la cual se da la comparación para el puerto de Pola en 1909 y la
curva de marea muestra en luna llena la llamada calma metereológica
y se desarrolla muy fuertemente en la primer bajamar; entonces esto
corresponde a una buena predicción del proceso de la marea, a tra-
vés de obtener sólo las mareas parciales las cuales también son pa-
ra la predicción, según el Dr. Kesslitz en 1900. La gráfica 2
muestra la computación de la marea para el puerto de Pola para el
mes de enero de 1909 durante el solsticio de invierno en luna llena
en donde el agua está a un nivel muy bajo.

GRAFICA 2



El uso práctico del método armónico ha sido sólo a través de tiempos recientes, no hay otro método adecuado y especialmente para localidades en donde las amplitudes de las mareas diurnas; este método es superior a otros métodos dentro de los cuales se propongan mostrar el conocimiento de las constantes armónicas, como el tiempo y el número de componentes. Las tablas de marea para las cuales estas constantes conocidas son rápidamente conocidas en la tabla alemana de mareas publicada en 1939 en la cual contiene cerca de 1000 localidades para tres tipos de mareas.

La tabla del almirantazgo Británico publicada en 1930, tiene constantes para 2650 localidades referidas a 3500 estaciones subordinadas con las constantes para M_2 , S_2 , K_1 , y O_1 han de ser derivadas en las tablas de mareas del almirantazgo en la parte II publicada en 1938 dentro del procedimiento práctico para la predicción de la altura de las mareas en una localidad para cualquier tiempo arbitrario, los valores de la tabla alemana de mareas fueron publicados en 1940, la cual muestra los siguientes argumentos :

TABLA 2

MAREA	M_2	S_2	N_2	X_2	μ_2
PERIODO EN HORAS	12.42	12.00	12.66	11.97	12.87
MAREA	K_1	O_1	P_1	M_4	MS_4
PERIODO EN HORAS	23.93	25.84	24.07	6.21	6.10

En dicha talba se usan 10 componentes de las cuales 7 son las principales (4 semidiurnas y 3 diurnas). Entre ellas están también las de aguas bajas $\mu_2 = 2 MS_2$, M_4 ellas son de importancia en regiones en donde hay mucha agua superficial baja, la componente M_2 es una de las mareas más conocidas la cual causa una asimetría de la curva de marea semidiurna y el convivir con MS_4 entonces se obtiene una escasa variación de tiempo de las mareas vivas y menguantes. Un ejemplo es ilustrado en la tabla 2 en la cual se muestra que en la primera y la segunda líneas son constantes de mareas de las cuales T_i es la velocidad, ωt es el ángulo horario; las cuales pueden ser terminadas para todos los días del año y todas las horas de todos los días. En las tablas de marea la suma de las líneas dan el ángulo U_i el cual es reducido por múltiplos de 3 a 0, y para la computación del coseno Y , los valores de A coseno de U pueden ser tomados directamente de las tablas y se localizan en la columna vertical a la izquierda, su suma de Z_0 da la elevación de la marea a la hora indicada.

Si las otras mareas parciales son elevadas; entonces habrá un error el cual será bastante importante para la navegación. Si las constantes no son conocidas para las otras componentes y tengan una menor ocurrencia es suficiente para que estas componentes formen un error que sea más o menos igual a la suma de las amplitudes de la marea discriminada.

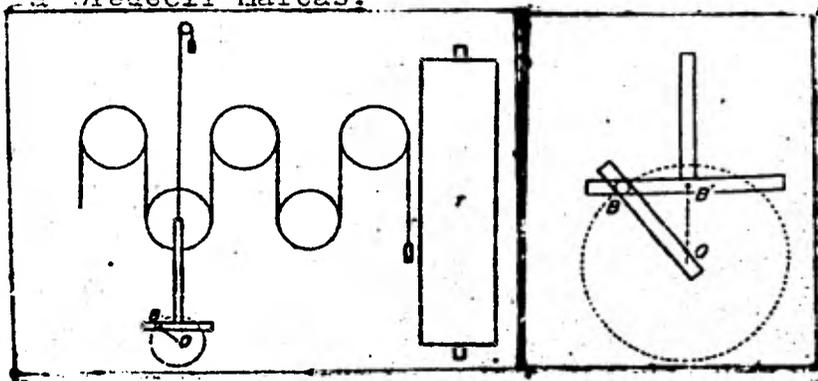
b4.- Máquinas para Predecir Mareas: Para la computación de las tablas de marea las cuales completan un laborioso trabajo y extensivo a la vez, dichas tablas se haran para todos los años y para un gran número de puertos de cada localidad costera. Hay anualmente cerca de 14 componentes de aguas someras y bajas. Se ha computado y se ha experimentado sólo a las mareas parciales más importantes y que pueden completar un año de predicción sólo para pocos puertos. Teóricamente para fines y objetivos económicos esta idea fue concebida sólo para pocos años, después se introdujo el análisis armónico, se empezó a usar la máquina para estas predicciones (o sea las predicciones de marea, Lord Kelvin fue el primero que utilizó la máquina para computar las mareas, la cual fue improvisada por Roberts en 1879). Roberts fue el primero que inventó la máquina para predecir las mareas, la hizo en Kessington en 1876 después realizaron máquinas similares por el gobierno de las Indias, por Francia fue Michel Morot, por el gobierno de los Estados Unidos y por Alemania por Rauschelbach en 1924, la máquina más grande la cual toma en cuenta las mareas parciales (62 componentes de mareas parciales) se fabricó en Alemania, la construcción de todas estas máquinas está basada en los siguientes argumentos. Estan constituidas por un sistema de maniobrabilidad que funciona por medio de una flecha o espiga que representa las diferentes componentes realizadas por el rotor con una velocidad angular proporcional a las actuales velocidades de las componentes (véase en la fig. 1). En la tabla 3 en la cual muestra la computación del rango de marea para el puerto de Casablanca el 26 de marzo de 1939 a las 11 hrs. 30 min. G M T .

TABLE 3

Tides	$A \cos U$	Z_0	M_2	S_2	N_2	K_2	M_4	K_4	O_4	P_4	M_6	MS_6	Amplitude (cm)
M_2	.	+ 30	304°	278°	323°	280°	351°	312°	53°	323°	193°	322°	Phase
S_2	- 5	.	156°	0	179	23	311	102	52	265	313	156	Speed T_1
N_2	- 7	.	333°	345	327	346	322	173	160	172	307	318	σ
K_2	.	+ 2											
M_4	- 1	.	793°	623	829	649	984	587	265	760	313	796	Sum
K_4	- 4	.	720°	360	720	360	720	360	0	720	720	720	-n. 360°
O_4	- 0	.	73°	263	109	289	264	227	265	40	93	76	U
P_4	.	+ 2	.	180°	180	360	180°	180	180°	.	180°	.	
M_6	- 0	.	.	+ 83°	- 71°	- 71°	+ 84°	+ 47°	+ 85°	.	- 87°	.	
MS_6	.	0											
Sum	-17	+248											
Height (cm)		+234											

Height of the tide: 2.3 m

En la figura 1 muestra el dibujo esquemático de la máquina para predecir mareas.



También consta de un sistema de bielas con una estructura des-
 lizante, las cuales sirven para obtener los movimientos armónicos
 y el sistema de cadena o guillete, la cual va conectada a las com-
 ponentes individuales por medio de las cuales la suma de los térmi-
 nos armónicos son transmitidos al marcador y de este al impresor, -
 posteriormente hay un sistema de relojes o cuadrantes los cuales -
 tienen la función de apuntar para indicar la forma de elevación de
 la marea para los instantes sucesivos de tiempo: entonces es el tiem-
 po de aguas bajas y someras. Posteriormente se muestra una curva -

de marea cuya representación se realiza gráficamente y automáticamente. En la máquina se registran un conjunto de constantes armónicas y el registro del tiempo así como la elevación de cerca de 1400 parámetros referentes a aguas someras y bajas, también se imprimen para cada año las tablas y se requieren aproximadamente de 10 a 15 hrs. de acuerdo con la complejidad de las mareas en la localidad concerniente (véase en el libro de Shyreman publicado - en 1929 pag. 123).

A N E X O I

ECUACIONES FUNDAMENTALES ACERCA DE LA VELOCIDAD DE LAS ONDAS PROGRESIVAS.

La velocidad de propagación de una onda progresiva se determina en aguas de profundidad limitada, y se calcula con la siguiente ecuación (1)

$$c_H^2 = \frac{g \lambda}{2 \pi} \tanh k H$$

El período y la longitud de la onda están relacionados por la siguiente ecuación (2)

$$\frac{2}{c} = \frac{2 \pi \lambda}{g} \tan h k H$$

Con un crecimiento limitado de la profundidad $\tanh kH \rightarrow 1$ y consecuentemente, en agua infinitamente profunda, la ecuación 1

1) Aquí consideramos el caso de una incidencia frontal de las ondas en la construcción, esto es: cuando el frente de la onda es paralelo a la dirección de la pared. Cuando hay una incidencia diagonal de las ondas, el carácter del oleaje se complica en alto grado, dependiendo del ángulo entre el frente de la onda y la dirección de la pared, ya que se observan diferentes casos de interacción entre las ondas incidentes y las reflejadas.

$$k x - w t = \frac{n \pi}{2} \quad \text{en donde } n=0, \pm 1, \pm 2$$

o bien :

$$x = \frac{w}{k} t + n \frac{\pi}{2k}$$

de donde se ve que las coordenadas de éstos puntos varían con el tiempo y consecuentemente la onda se desplaza con una velocidad $c = w/k$ en la dirección positiva del eje x. En Hidrodinámica se demuestra que $w^2 = k \cdot g$. Entonces para la velocidad de propaga--

ción de las ondas con $H = \infty$ obtenemos la ecuación 3:

$$c^2 = \frac{E \lambda}{2\pi}$$

De estas condiciones podemos obtener la siguiente relación entre la longitud y el período de la onda, ecuación 4:

$$\tau^2 = \frac{2\pi\lambda}{E}$$

Dado que el período se considera constante, siempre se cumple la relación $\lambda = c\tau$.

A N E X O 2

ECUACIONES DEL MOVIMIENTO (DE CONTINUIDAD).

Las ecuaciones de movimiento de continuidad, las cuales nos indican el ritmo de los cambios de la masa de agua en la columna vertical y dentro del océano es igual al ritmo en el cual el agua fluye dentro de la columna, entonces las ecuaciones de movimiento nos indican la aceleración de una partícula de agua (tomando los siguientes datos, el conteo de la rotación terrestre, la latitud) - la cual es igual a la fuerza por la densidad de la masa que actúa sobre la partícula de lo cual se deduce la siguiente ecuación de continuidad (1):

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} = - \frac{1}{a \sin \theta} \left[\frac{\partial}{\partial \theta} (u d \sin \theta) + \frac{\partial}{\partial \lambda} (v d) \right]$$

de donde $d(\theta)$ es la profundidad del agua, las ecuaciones del movimiento en direcciones hacia el S y hacia el E se representan de la siguiente manera, ecuación 2:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} - 2wv \cos \theta &= - \frac{g}{a} \frac{\partial}{\partial \theta} (\xi - \zeta) \\ \frac{\partial v}{\partial t} + 2wu \cos \theta &= - \frac{g}{a} \csc \theta \frac{\partial}{\partial \lambda} (\xi - \zeta) \end{aligned}$$

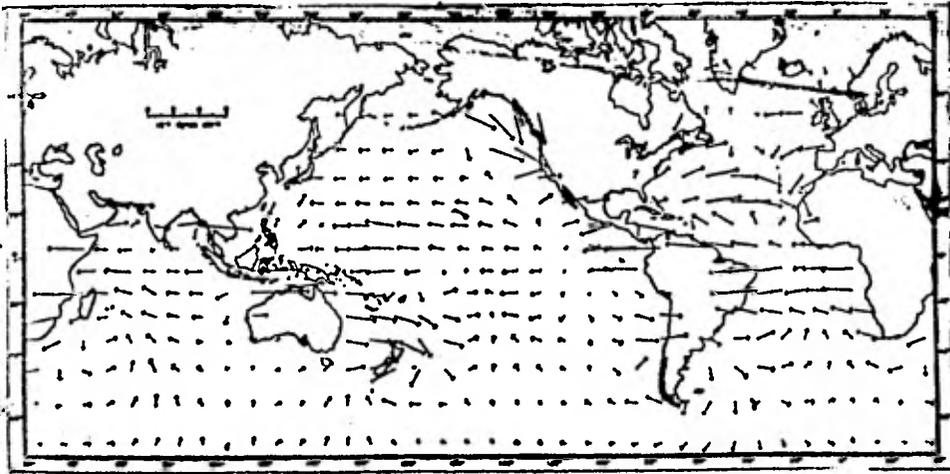
on donde w es la velocidad angular de rotación de la tierra u y v son las componentes geográficas S y E de la corriente de marea, - otras cantidades son previamente definidas.

Las ecuaciones 1 y 2 dan aporximadamente el conteo dentro de una complicada estructura de las cuencas oceánicas, las ecuaciones obtienen ciertos rasgos de la naturaleza de las mareas; por ejem. en la marea de equilibrio en la cual actúan simultaneamente en el océano. Las mareas oceánicas serán las sumas de una serie de reacciones, pero en ciertas regiones las mareas son distorcionadas.

Esta distorsión es considerada como el resultado de la presencia de las constituyentes denominadas de aguas bajas y cuyas frecuencias serán igual a las series armónicas o sea a las armónicas, la frecuencia de las constituyentes de equilibrio tiene cierta discrepancia por lo cual se hace notar en la predicción y la observación. En las ecuaciones 1 y 2 se obtienen tomando en cuenta que el océano tiene una simple estructura geométrica, Laplace resolvió algunas soluciones referentes a la constante de profundidad del océano y dió soluciones al obtener la profundidad constante, tomando en cuenta dos meridianos.

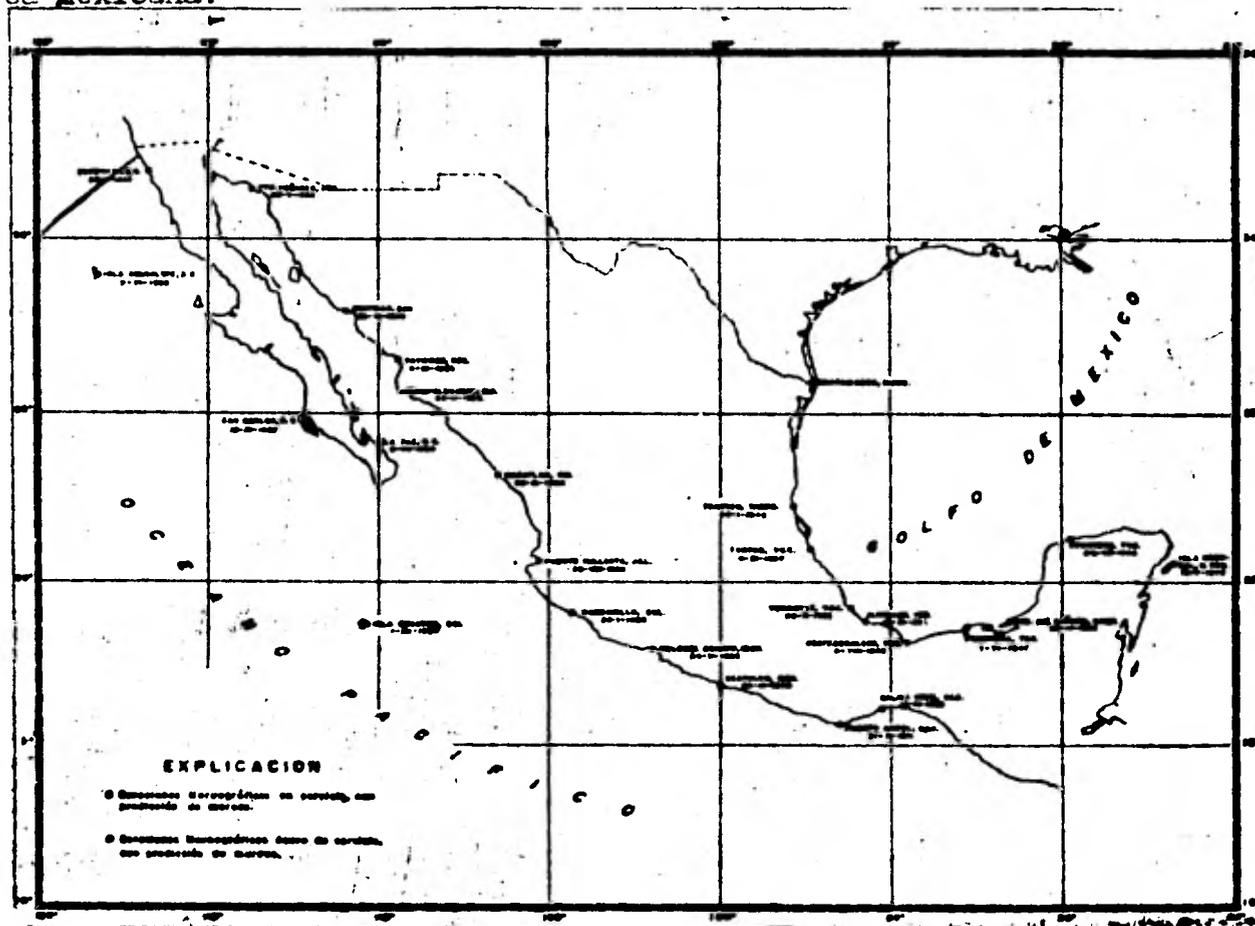
A N E X O 3

Mapa en cual muestra la distribución geográfica de la componente horizontal de la marea, teniendo un carácter semidiurno. - Los vectores según Darwin van del centro a los 10° y el desplazamiento es computado.



A N E X O 4

Mapa de la distribución de la red Marcográfica en la República Mexicana.



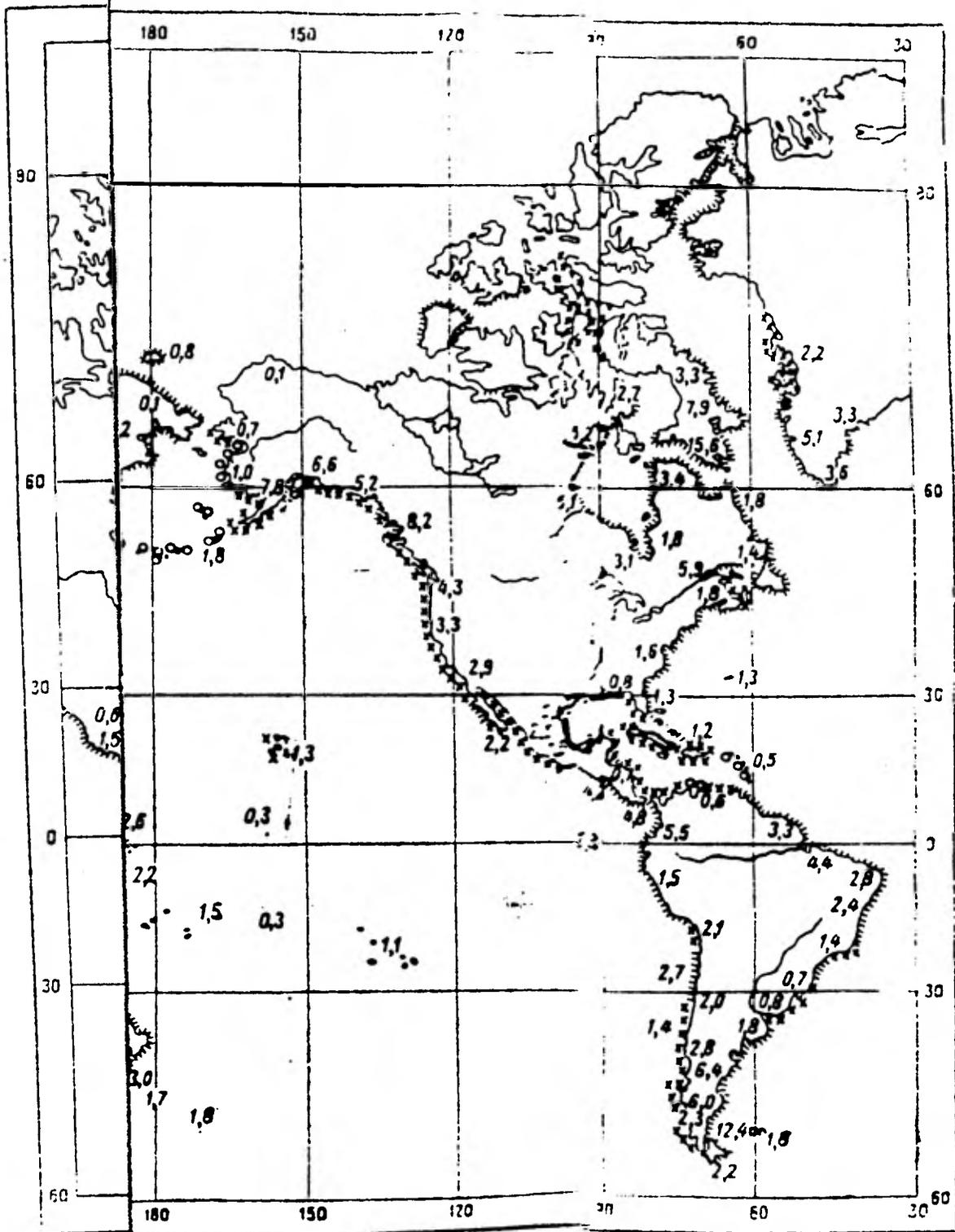


Fig. 1 - marea semidiurna, 2 - marea
te diurna, 4 - marea diurna.

B I B L I O G R A F I A .

1.- Dr. Ocampo Torrón Raúl.

"Apuntes del Seminario de Geofísica" (Dinámica de los Océanos)
Editorial del Instituto de Geofísica de la UNAM México D.F. 1976
Capítulo IV Mareas. Con material de las X Universidades de Mos-
cú y Leningrado. Véase en las referencias 2 y 6.

2.- Shuleikin V.V.

"Física Moria" (Physics of the Sea)

Edited by Izdatelstvo Akademia Nauk CCCP U.S.S.R. and Edited
by Geografía Fakultet Gosudarstvennyy Universitet Leningrad
Ulitsa Smolnogo 3 Leningrad 1970.

Chapter Tides.

3.- Neumann Gerhard and Pierson Jr. Willard J.

"Physical Oceanography"

Both of Statal University of New York and Cambridge University of
England.

Edited by Prentice Hall Inc. Englewood Cliffs of the New Jersey
U.S.A. 1976.

Chapter The Tides.

4.- MacKenzie Hugh et al

"Physical Oceanography"

Edited by Pergamon Press of New York 1975.

Select Topics The Tides.

5.- Defant Albrecht.

"Physical Oceanography" Vol. 2

Edited by Pergamonn Press of New York 1968. Edited Deusching AG
Verlag Der Bundesrepublik Deuschuland und Edited Staten Universi-
tat Berlin Der Deuschuland Demokratische Republik.

Chapters: Tides, Tides Cosmic and Geophysical Factories.

6.- Dubrovolsky A.D., Shuleikin V.V., I Maksimov N.B.

"Dinemika Moria"

Edited by Chair of Oceanology of the Geographical Faculty,
Geografíia Fakul'tet Guseudarstvennyy Universitet MÓskva Leninsky
Gory 234 MÓskva 1978 CCCP U.S.S.R.

Chapter Tides.

7.- Groves Gordon.

"Encyclopedia of the Science and Technology" Vol. 13.

Edited by Macgraw Hill Book of New York 1978 U.S.A.

Tide pp 650-656

8.- Lisitzin L.I. and Patullo A.P.

"Secular Variations of the level of the Sea"

Edited by Elsevier Publishers of The New York 1970
Series of Oceanography

Chapter Vertical Moviments of the Earth Crust.

9.- Groves Gordon and Munk Walter. DS-996

"Journal of the Marine Reseach"

Edited by Dpto. of Oceanography of the Washington University
Washington D.C. 1968 U.S.A.

A note Tidal Fricción.

10.-

"Anales del Instituto de Geofísica de la UNAM"

Series B Oceanografía

Editorial del Instituto de Geofísica de la UNAM 1976 México D.F.

Véase mapas de mareas en la República Mexicana.

11.- Strahler A.N.

"Physical Geography"

Edited by John Wiley and Sons of New York 1978 U.S.A.

Chapter Tides.

12.- Margalef López Ramón.

"Los Océanos" Tomo 39

Editada por Editorial Salvat de Barcelona, España 1973

Colección Biblioteca Salvat de los Grandes Temas

Tema Mareas pag. 42 y 43

13.- Kadar L.

"Interaction in the Climatic Fluctuations and Changes
Astrodynamics and Field Geomagnetic Phenomena over Relations
at the Changes in the level of the Sea"

Edited by Statal University of Debrecen Popular Republic of
Hungary

Series of Paleogeography and Landscape Geophysics

Edited by Statal University of Moscow in the International
Geographical Congress of the 1976 in the Sections Paleogeography
and Oceanography and General Physical Geography

(See Landscape Geophysics and Planetology)

Moscow 1976 U.S.S.R. CCCP