

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

PREDICCIÓN DE MAREAS TERRESTRES
Y SU RELACION CON LOS SISMOS
DE LA ZONA DE SUBDUCCION MEXICANA.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

Ingeniero Geofísico.

PRESENTA:

RAFAEL T. COYOLI MARTINEZ.

R.T.C.

MEXICO, D.F.

1986.



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 está 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.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

2 ej.
5



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA

FACULTAD DE INGENIERIA

Dirección
60-I-94

Señor COYOLI MARTINEZ RAFAEL T.
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que aprobado por esta Dirección, propuso el Profr. Dr. - Jaime Urrutia Fucugauchi, para que lo desarrolle como tesis para su Examen Profesional de la carrera de INGENIERO GEOFISICO.

"PREDICCIÓN DE MAREAS TERRESTRES Y SU RELACION CON LOS SISMOS DE LA ZONA DE SUBDUCCION MEXICANA"

RESUMEN.

- I INTRODUCCION.
 - II MAREAS TERRESTRES.
 - III RELACION SISMOS-MAREAS.
 - IV DISCUSION Y CONCLUSIONES.
- BIBLIOGRAFIA.

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento con lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar -- Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como -- requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así -- como de la disposición de la Coordinación de la Administración -- Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de los -- ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente.
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, D.F., abril 28 de 1986.
EL DIRECTOR

Dr. Octavio A. Rascón Chávez

INDICE

	RESUMEN	
I	INTRODUCCION	1
II	MAREAS TERRESTRES	
	- DESCRIPCION DEL FENOMENO	3
	- INTERACCION DEL MANTO CON EL NUCLEO	6
	- INTERACCION DE LA CORTEZA TERRESTRE Y LOS OCEANOS	8
	- INSTRUMENTOS DE MEDICION	9
	- FORMAS DE EVALUAR LA CORRECCION POR MAREAS	12
	- FACTORES ASTRONOMICOS DE LAS MAREAS	13
	- PROGRAMA MAREAS	24
III	RELACION SISMOS-MAREAS	
	- RELACION SISMOS-MAREAS	40
	- DESCRIPCION DE LOS DATOS	45
	- CATALOGO DE SISMOS	47
	- REGION DE INTERES Y TECTONICA	51
IV	DISCUSION Y CONCLUSIONES	
	- ESTUDIO CUALITATIVO DE LA RELACION - SISMOS-MAREAS	55
	- SISMOS DE LA COSTA DEL PACIFICO	55
	- PREMONITORES Y REPLICAS DEL SISMO DEL 29 DE NOV DE 1978.	65
	- DISCUSION	70
	CONCLUSIONES	73
	RECOMENDACIONES	76
	BIBLIOGRAFIA	77

**PREDICCION DE MAREAS TERRESTRES Y SU RELACION CON
LOS SISMOS DE LA ZONA DE SUBDUCCION MEXICANA.**

RESUMEN

LAS MAREAS TERRESTRES SON PRODUCIDAS POR LA VARIACION DE LA DISTANCIA Y LA POSICION RELATIVA DE LA TIERRA, LA LUNA Y EL SOL, LO QUE PROVOCA VARIACIONES DEL CAMPO GRAVITACIONAL. ESTAS SON AFECTADAS EN MENOR GRADO POR OTROS CUERPOS CELESTES Y OTROS FENOMENOS QUE OCURREN EN LA TIERRA, COMO POR EJEMPLO: LA INTERACCION ENTRE LOS OCEANOS Y LA SUPERFICIE SOLIDA. LA CORRECCION DE LOS DATOS GRAVIMETRICOS SE INCLUYE, GENERALMENTE, EN LA DERIVA DEL GRAVIMETRO O SE EMPLEA UN GRAVIMETRO EN UNA ESTACION BASE. PARA TRABAJOS DE DETALLE SE UTILIZAN TABLAS DE PREDICCION DE MAREAS TERRESTRES. EN ESTE TRABAJO SE IMPLEMENTA UN PROGRAMA EN FORTRAN PARA EL CALCULO AUTOMATICO DE MAREAS EN CUALQUIER PUNTO DE LA SUPERFICIE DEL PLANETA, PARA CUALQUIER INTERVALO A PARTIR DEL 31 DE DICIEMBRE DE 1899 A LAS 24:00:00 HORAS.

LA POSIBLE RELACION EXISTENTE ENTRE MAREAS TERRESTRES Y EL INICIO O DISPARO DE LOS SISMOS SE ESTUDIA EN LOS CAPITULOS III Y IV. ESTA RELACION SE HA BUSCADO EN DIFERENTES REGIONES DE LA TIERRA PARA LAS QUE SE HAN DOCUMENTADO DESDE LA RELACION CASI PERFECTA DE LAS REPLICAS DEL SISMO DE TRUKEE CALIFORNIA EN 1966 CON LOS MINIMOS DE LAS MAREAS TERRESTRES, HASTA LA FALTA TOTAL DE COINCIDENCIA ENTRE ESTOS FENOMENOS PARA LA COSTA DE CALIFORNIA PUBLICADO EN 1964. EN ESTE TRABAJO LA ZONA DE SUBDUCCION MEXICANA FUE DIVIDIDA EN CUATRO SUBREGIONES, SE ENCONTRO PARA CADA ZONA UNA RELACION CON LA HORA DE OCURRENCIA Y LA PORCION DE LA MAREA. PARA LOS SISMOS OCURRIDOS POR LA NOCHE SE ENCONTRO QUE GENERALMENTE OCURREN DURANTE EL ASCENSO DE LA MAREA, MIENTRAS QUE LOS SISMOS OCURRIDOS DURANTE LAS PRIMERAS HORAS DEL DIA SE PRESENTARON DURANTE EL DESCENSO DE LA MAREA. POR OTRA PARTE LOS PREMONITORES Y LAS REPLICAS DEL SISMO DEL 29 DE NOVIEMBRE DE 1978 PRESENTARON UN AUMENTO EN LA OCURRENCIA DURANTE LA PARTE POSITIVA DE LA CURVA DE MAREAS Y POR LA MAÑANA.

INTRODUCCION

La importancia de la determinación de las mareas terrestres para un periodo de tiempo dado, consiste en que estos valores de marea se pueden usar en la corrección por mareas en trabajos de investigación del interior de la tierra, en estudios geodésicos de detalle en los que se cubran grandes áreas y se requiera introducir la deformación de la superficie terrestre y también en trabajos de exploración geofísica de detalle, como es el caso de trabajos de arqueología.

Durante este siglo se han tratado de relacionar los sismos con otros fenómenos naturales. Las mareas terrestres son uno de estos fenómenos, las cuales son producidas por la variación de las distancias entre la Tierra, la Luna y el Sol, y el cambio de sus posiciones relativas, lo que genera una variación periódica de los esfuerzos en la Tierra. Primeramente se supuso que las mareas terrestres eran, por sí mismas, un mecanismo generador de sismos, pero al estudiarlas más detenidamente se vio que los esfuerzos introducidos no poseen la magnitud necesaria para esto. Posteriormente al ser difundida la teoría de la tectónica de placas se han relacionado a los sismos con estos mecanismos.

Desde entonces se han tratado de relacionar a los esfuerzos introducidos por las mareas terrestres como un mecanismo "disparador" o iniciador de sismos.

En este trabajo se busca la relación entre la variación semidiurna de las mareas terrestres y los sismos ocurridos en este siglo en la costa del Pacífico originados en la zona de subducción mexicana. La relación buscada es en forma cualitativa tanto para las grandes regiones consideradas, como para el estudio de premonitores y réplicas del sismo del 29 de noviembre de 1978 en Oaxaca, México, ocurrido a las 04:52:47.3 horas a los 15.46 grados de latitud norte y 96.48 grados de longitud oeste con magnitud $M_s=7.8$.

DESCRIPCION DEL FENOMENO

En cualquier punto de la superficie terrestre están presentes dos fuerzas: la fuerza centripeta debida a la rotación y la fuerza de gravedad. La resultante de estas dos fuerzas es un vector dirigido al interior de la Tierra que representa la intensidad de la gravedad en ese punto y la vertical del lugar. Esta fuerza no puede ser considerada constante debido a que el punto en estudio de la superficie terrestre, es atraído por el SOL, la LUNA, y en mucho menor grado por otros cuerpos celestes, así como por otras interacciones de la Tierra. Esta atracción varia con la hora, el día, la latitud, la longitud, la elevación, el mes y el año. Esta variación se debe a la traslación, rotación e inclinación terrestre y a la traslación lunar. A este fenómeno se le conoce como mareas. Los oceanos que carecen de rigidez elevan y disminuyen su nivel periodicamente obedeciendo a estas fuerzas, la Tierra misma sufre la acción de estas fuerzas de marea y como no es infinitamente rígida, la superficie sólida se deforma como la superficie libre del agua, aunque, con mucha menor magnitud. Este movimiento origina cambios muy pequeños en la gravedad. En la superficie continental se han podido establecer, variaciones de la vertical de 1.066 mm de magnitud y

variaciones periódicas de la intensidad de la gravedad de 0.25 mGales. De estos valores leídos se generan tablas de predicción de mareas para años siguientes.

Si la Tierra fuera totalmente rígida, la variación de la gravedad por marea quedaría completamente determinada por la posición del Sol y la Luna, pero como no es así, se presentan variaciones de la gravedad respecto al modelo teórico que es completamente rígido. A.H. Love en 1911 mostro que para un punto en la superficie terrestre el desplazamiento del terreno es proporcional al potencial debido a la deformación. Considerando un punto de la superficie terrestre el potencial gravimetrico sera igual a la suma de cuatro componentes y puede ser escrito como: $U = U_0 + U_t + U_m - \Delta U$ donde U_0 es el potencial debido a la atracción y rotación terrestre, U_t es el potencial debido a la atracción de la Luna y el Sol, U_m es el potencial debido a la masa deformada por las mareas y ΔU es el cambio de potencial debido al desplazamiento. De aqui Love introdujo las variables "h" y "k". Donde h es el cambio de altura del punto en estudio, k es la variación del potencial ocasionado por la redistribución de las masas bajo el efecto del potencial cambiante, con estas variables desarrollo la expresion $G=1+h-1.5k$ que es "El Factor de Magnificacion de las Mareas" el desarrollo de la teoría

de Love se puede ver en Garland(1968), Melchior(1966), y otros. La importancia del estudio de Love radica en que una vez determinadas las constantes h y k se pueden desarrollar modelos del interior de la Tierra y comparar los modelos con valores tomados de observaciones directas para determinar las propiedades elásticas de la Tierra.

Uno de los primeros intentos para medir la deformación de la Tierra fue realizado en 1919 por Michaelson y Gale en el lago Genova, Wisconsin. Utilizando unos tubos de 150m de largo llenos a la mitad de agua, monitorearón el cambio del nivel del agua ocasionado por las mareas. Del experimento se dedujo: i) La rigidez media de la Tierra ii) La rigidez no varia de la dirección N-S a la dirección E-W. iii) El valor de la inclinación de la marea es 0.690 ± 0.004 que es igual al valor actual. En 1935 se inicio el registro de las mareas terrestres con la aparición de gravímetros mejores como el Hoyt de los laboratorios Gulf. En 1969 F. Melchior coordino 307 estaciones gravimétricas para el estudio de las mareas, en las cuales se emplearón aproximadamente 400 medidores de mareas de cualquiera de los tres tipos que son: inclinómetros, gravímetros y extensómetros, de los que se contaba en aquella epoca. Actualmente también se cuenta con extensómetros laser e instrumentos mejorados de los otro tipos.

El primer intento para determinar los valores de las constantes de Love lo hizo Baars en 1949. Quien distribuyó 21 estaciones en las que recopiló datos gravimétricos por dos semanas, luego obtuvo el valor de magnificación por comparación entre los datos leídos y los obtenidos a partir de su modelo teórico para una superficie rígida. De este experimento Baars determinó el valor de 1.24 para el factor de magnificación de las mareas, publicando sus resultados en 1953. Con el tiempo se ha mejorado la sensibilidad de los instrumentos de medición y se han hecho series de datos más largas y con mayor número de estaciones para determinar este factor con mayor exactitud (entre otros se puede mencionar a Pariisky, 1961, Nishimura, Ichinode y Nakagawa, 1962, Melchior, 1969), teniéndose el valor de 1.2 para este factor como el representativo para toda la superficie terrestre.

INTERACCION DEL MANTO ELASTICO CON EL NUCLEO "LIQUIDO".

La resonancia entre el núcleo "líquido" y el manto elástico tiene un periodo de 23.935 horas y es un fenómeno que afecta a las mareas terrestres. Esta relación fue verificada por observaciones de las mareas terrestres hechas por Jeffreys y Vicente (1957), Jobert (1964), Melchior (1966), Modeledesky (1971). Estos autores se dividieron en dos grupos de acuerdo al modelo teórico

Utilizado, Jeffreys-Vicente y Modelensky utilizaron el modelo de núcleo sólido, mientras que Melchior y Jobert utilizaron un modelo con el núcleo "líquido". Todos ellos utilizaron el factor de magnificación de Love $G=1+h-1.5k$ e hicieron comparaciones de datos observados con datos calculados. Como se esperaba Melchior y Jobert obtuvieron valores menores de corrección por la interacción del manto y el núcleo debido a la mejor selección de su modelo y al mayor número de estaciones utilizadas en su estudio. Lo que no considero ninguno de estos autores fue la corrección por las mareas oceánicas, lo que hubiera disminuido sus valores de corrección. La corrección por la interacción entre el manto y el núcleo es tan pequeña en las mareas terrestres que solo tiene significado en estudios geofísicos de investigación de la estructura interna de la Tierra sin afectar en forma significativa a otros estudios, (Robertson, 1971).

INTERACCION DE LA CORTEZA TERRESTRE Y LOS OCEANOS

Las mareas oceánicas con sus dos componentes principales, que son la variación diurna y semidiurna, son una fuente constante de deformación de la corteza y el manto. Debido a que el mar no posee rigidez hace posible que la atracción del sol y la luna generen un gran movimiento de masas de un lugar a otro dando origen a

alteraciones en el campo gravitacional terrestre. Lo que ocasiona que existan diferencias entre los datos calculados y los datos observados de las mareas terrestres en lugares próximos al Mar. Estas variaciones son diferentes en las costas de los grandes oceanos, que para las islas o las peninsulas, así como también en las bahías y mares cerrados, dependiendo de la forma, tamaño y posición de la cuenca, entre otros factores. La variación que producen las mareas oceanicas es un retraso en los máximos de las mareas terrestres calculadas y este retraso lo produce la fricción existente entre el oceano y la corteza terrestre.

La fricción entre la Corteza y los oceanos se observa facilmente al comparar la media de la marea alta con la posición de la línea imaginaria que une los centros de la Tierra y la Luna o el Sol. Este fenómeno acentua la distribución asimétrica del potencial gravimétrico terrestre, además genera un par o torque en los oceanos, (fig 1) el cual frena el movimiento de rotación terrestre. Este efecto es de primer orden en el estudio del tiempo geológico y vital en el estudio de la historia conjunta de la Tierra y la Luna. El primer investigador en estudiar esta fricción fue H.Gerstenkorn (Stacey, 1877)

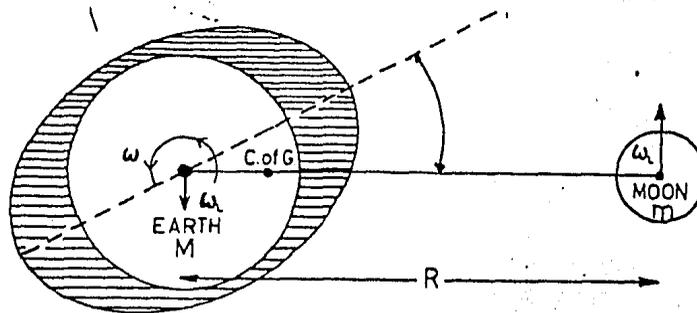


FIGURA I

INSTRUMENTOS DE MEDICION

Los instrumentos para medir las mareas terrestres son capaces de registrar variaciones geofísicas extremadamente pequeñas en periodos muy cortos de tiempo. Estos aparatos son de tres tipos esencialmente: los Inclinométros, los Gravimétros, y los Extensométros. Todos estos aparatos debido a su gran sensibilidad se emplean en la lectura de las oscilaciones libres de la Tierra y en la medición de los desplazamientos de las zonas tectónicamente activas, entre otras aplicaciones. Este tipo de estaciones gravimétricas pueden quedar perfectamente instaladas en el interior de una mina o en regiones tectónicas pasivas, con poca actividad sísmica. La Antártida es un lugar apreciado en gran forma para la instalación de estaciones

gravimétricas y de medición de las oscilaciones libres de la Tierra debido a que casi no es afectada por las mareas terrestres y oceánicas.

LOS INCLINOMETROS se instalan, generalmente, en pozos de 38cm de diametro y 9m de profundidad, consiste básicamente de un péndulo instalado dentro del pozo e instrumental electrónico que registra la variación de la vertical.

LOS GRAVIMETROS utilizados en este tipo de trabajos no son los convencionales de resorte debido a que estos presentan una deriva más grande que las variaciones buscadas. Por esto se desarrollo el gravimetro superconductor, en el cual se ha sustituido el sistema de resortes y masa por una masa de metal superconductor de forma esferica de una pulgada de diametro sumergida en helio líquido y sostenida en su posición por un campo electromagnético, con ello se tiene asociado al campo electromagnético una corriente eléctrica que va a variar de acuerdo al cambio de posición de la masa, que en este caso es la esfera de metal. La variación de la corriente es registrada por un equipo electrónico que filtra el ruido y proporciona la variación de la gravedad. Este tipo de gravímetros tiene una deriva máxima de 0.5 mGal/dia. (Barteles,1972).

LOS EXTENSOMETROS miden la deformación o elongación de la superficie terrestre. Actualmente estos instrumentos

utilizan una unidad de rayo laser que permite una gran exactitud en la determinación de la distancia con un mínimo de error. Los extensómetros deben estar instalados en un terreno firme y lo más plano posible, sobre el cual se instalan dos bloques de granito, separados uno del otro, por una distancia de unos 800 metros. La fuente del laser se instala sobre uno de los bloques y el receptor en el otro. La deformación de la superficie terrestre ocasiona variaciones de la posición y la distancia entre el emisor y el receptor, con lo que se obtiene la variación de las mareas terrestres.

FORMAS CONVENCIONALES DE EFECTUAR

LA CORRECCION POR MAREAS

En trabajos de prospección se emplean, generalmente, dos metodos de campo para efectuar la corrección por mareas. Uno es elaborar estados diarios de la variación de la intensidad de la gravedad por las mareas en una estación base y corregir todas las lecturas tomadas en las otras estaciones, de acuerdo con las variaciones registradas en la estación base, sin olvidar la deriva del instrumento. El segundo método, que es el más común, consiste en utilizar el mismo graviméetro en las lecturas de campo partiendo de la estación base y regresando con la frecuencia suficiente, a la estación base para que los efectos de la marea

terrestre queden incorporados en la curva de deriva del instrumento.

FACTORES ASTRONOMICOS DE LAS MAREAS

Los movimientos fundamentales que dominan la variación de las mareas son:

- LA TRASLACION LUNAR EN SU ORBITA ELIPTICA EN UN PERIODO DE 29.5 DIAS.
- LA TRASLACION DE LA TIERRA AL REDEDOR DEL SOL EN UNA ORBITA ELIPTICA EFECTUANDO UNA REVOLUCION EN 365.25 DIAS.
- LA ROTACION TERRESTRE SOBRE SU PROPIO EJE EN UN PERIODO DE 24 HORAS O UN DIA SOLAR.

Si todos estos movimientos fueran en el plano ecuatorial la predicción de las mareas se simplificaría en gran forma, sin embargo el eje de la Tierra tiene un ángulo de 66.5 grados respecto a la elíptica o plano de la órbita terrestre alrededor del sol, mientras que la órbita lunar presenta una declinación respecto a la elíptica de 5 grados 9 minutos. (fig 2)

La declinación del Sol, que es la latitud de este al medio día varía por la inclinación del eje terrestre, de 23 grados 30 minutos sur en el invierno a 23 grados 30 minutos norte en el verano. sumado a la declinación lunar de 5 grados 9 minutos, respecto a la elíptica, resulta una

variación máxima de declinación lunar de 28 grados 30 minutos norte o sur cada 18.6 años.

La atracción entre la Tierra y la Luna es, como entre dos cuerpos cualesquiera, directamente proporcional al producto de las masas e inversamente proporcional al cuadrado de las distancias. como las masas no varían, entonces solo interesa la variación de la distancia. Dado que la Luna se mueve en una órbita elíptica la fuerza de atracción de esta varía de un mínimo en el apogeo a un máximo en el perigeo, este ciclo se completa, de perigeo a perigeo, en 27.5 días. De la misma forma la atracción del Sol es menor en el afelio de Julio y mayor en el perihelio de Enero

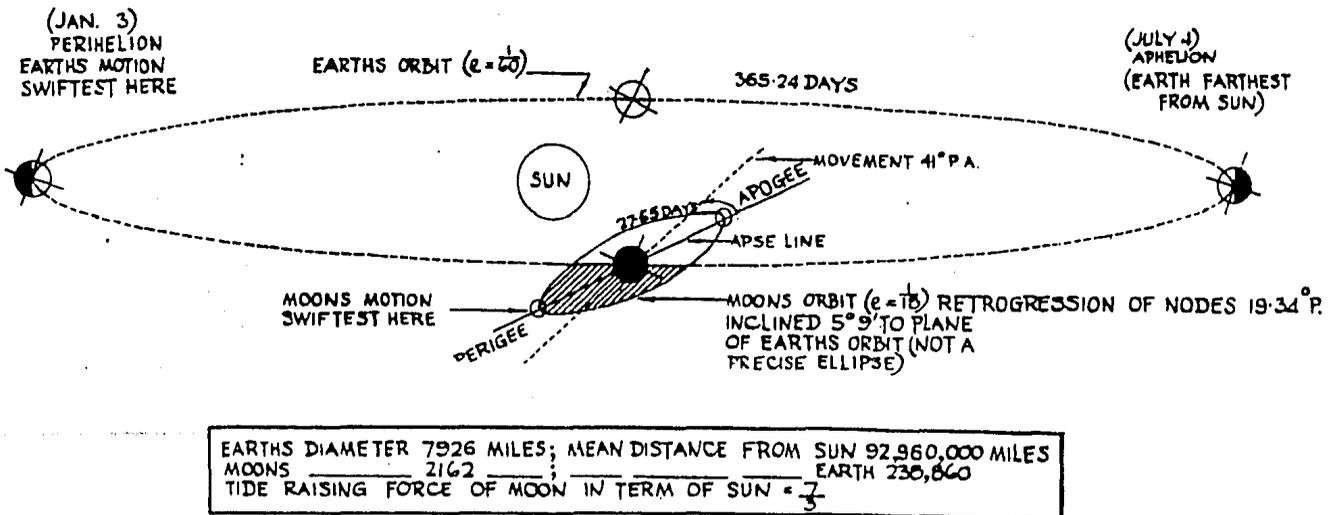


FIGURA 2

Como ya se menciono la fuerza de atracción entre dos partículas es función de la masa y de la distancia entre sus centros. Ahora bien, si cada partícula de la Tierra experimentara la misma fuerza, esta no causaría movimientos relativos entre las partículas, pero como algunas partículas, o grupo de ellas, son más afectadas que otras, una fuerza diferencial movera a unas partículas respecto de las otras. Este fenómeno se ve claro al notar que la Tierra no es una partícula y que la distancia entre dos puntos de su superficie es grande y la fuerza de atracción ejercida por la Luna y el Sol sobre la Tierra consta de dos componentes, que son la componente vertical y la horizontal. Esta fuerza varia con la latitud siendo casi insignificante en los polos, para ambas componentes, máxima en el ecuador para la componente vertical y para la componente horizontal es máxima a los 45 grados de latitud norte o sur. Esta variación con la latitud es afectada por la declinacion del Sol y la Luna. La componente vertical afecta el peso de las cosas, por lo que es de mayor importancia en los estudios geofísicos de prospección, y la componente horizontal es la responsable de la producción de los movimientos de marea y se le conoce como "Fuerza de Tracción". La atracción de las mareas es producida en la misma forma por la Luna y el Sol, siendo la atracción solar

solamente 0.46de la atracción lunar.

RESULTADOS DE CONSIDERAR SOLAMENTE LA VARIACION DE LAS DISTANCIAS DEL SOL Y LA LUNA. la revolución lunar proporciona dos máximos cada 29.53 días, uno en la Luna nueva y otro en la Luna llena, cuando están alineados el Sol, la Luna y la Tierra. A este ciclo se le llama Sinodico o ciclo de Fases. Otro ciclo de la traslación lunar es el Anomalistico, teniendo un periodo de 27.5 días que es el tiempo comprendido entre un perigeo y otro. En el perigeo, que es cuando la Luna esta más proxima a la Tierra, se produce un máximo, mientras que en el apogeo, que es cuando la luna esta más alejada de la Tierra, se produce un mínimo. La atracción solar también tiene este ciclo,

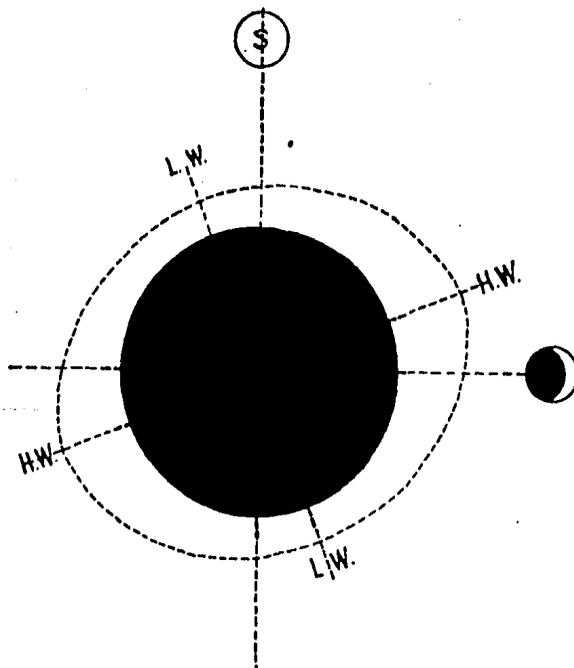


FIGURA 3

presentando el máximo durante el perihelio en el invierno y el mínimo en el afelio de verano, teniendo este ciclo un periodo de un año solar. El ciclo anomalístico lunar y solar se combinan una vez cada año. La conclusión de ciclo sinódico y el ciclo anomalístico se verifica cada 1600 años. Las fuerzas tractivas del sol y la luna se combinan produciendo un elipsoide de deformación en la superficie terrestre, donde la componente principal es proporcionada por la Luna.

RESULTADOS FUNDAMENTALES DE LA ROTACION TERRESTRE. debido a la rotación terrestre se presenta una alternancia de máximos y mínimos en las mareas cada 6 horas. En la figura 4 la línea punteada representa al elipsoide de atracción y T es el medidor fijo a la superficie rotante de la Tierra. Para la figura se supone que las mareas se ajustan instantáneamente a las fuerzas aplicadas. Como se observa el medidor se encuentra primero en un máximo, 6 horas después esta en un mínimo, 6 horas más tarde se encuentra nuevamente en un máximo, después de 6 horas más de recorrido se encuentra en un mínimo y finalmente después de un recorrido total de 24 horas regresa al punto de partida donde hay un máximo.

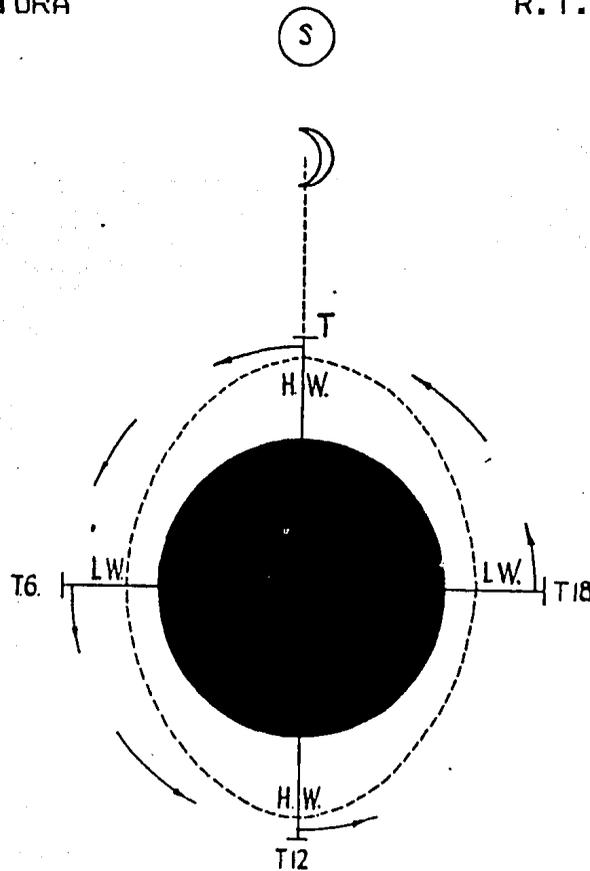


FIGURA 4

RESULTADOS FUNDAMENTALES DE LA COMBINACION DEL CICLO SINODICO DE LA LUNA EN SU ORBITA Y LA TRASLACION TERRESTRE ALREDEDOR DE SU ORBITA. Si la luna permaneciera en un solo lugar las mareas presentarián variaciones cada 6 horas exactamente. Pero como la luna se mueve , en la misma direcci3n que el movimiento de rotaci3n completando su ciclo sinodico en 29.53 dias. Por lo que tenemos que la Luna pasa por el mismo meridiano diariamente con un retraso de 50 minutos, (fig 5). En la luna llena o nueva cuando la Tierra, el Sol y la Luna estan alineados producen un m3ximo

en las mareas, 7.5 dias despues cuando la luna ha avanzado 90 grados y se encuentra en cuarto creciente o menguante las fuerzas tractivas de la Luna y el Sol son opuestas y ocurre un mínimo en la atracción, (fig 6). Este ciclo afecta a la variación diurna y semidiurna.

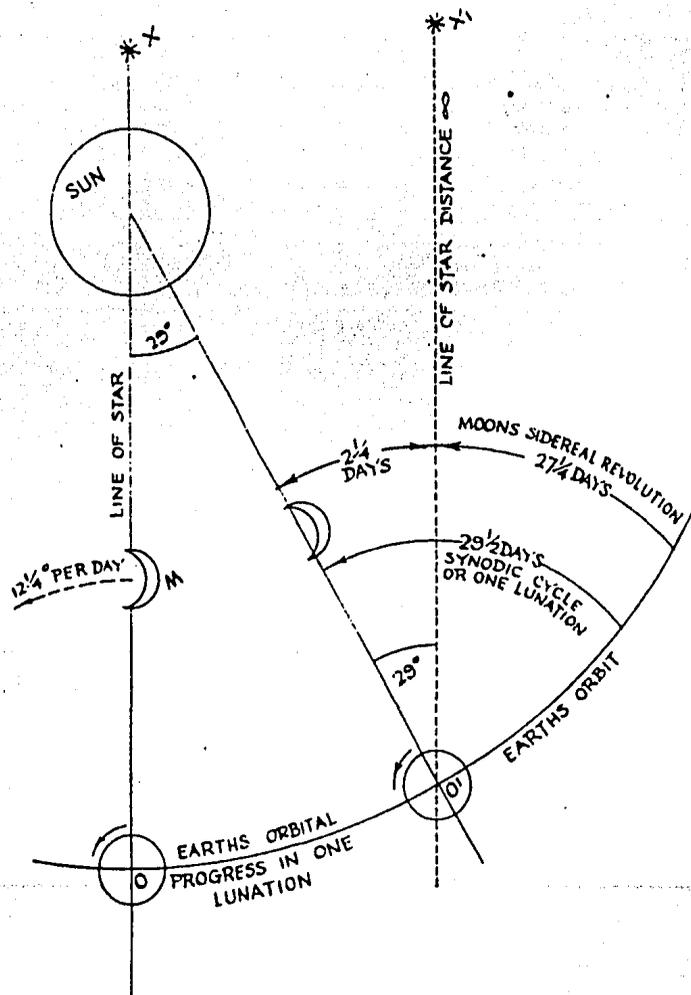


FIGURA 5

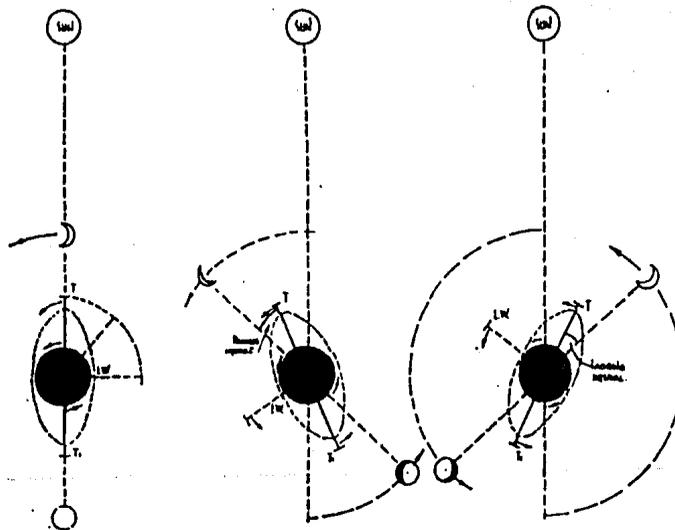
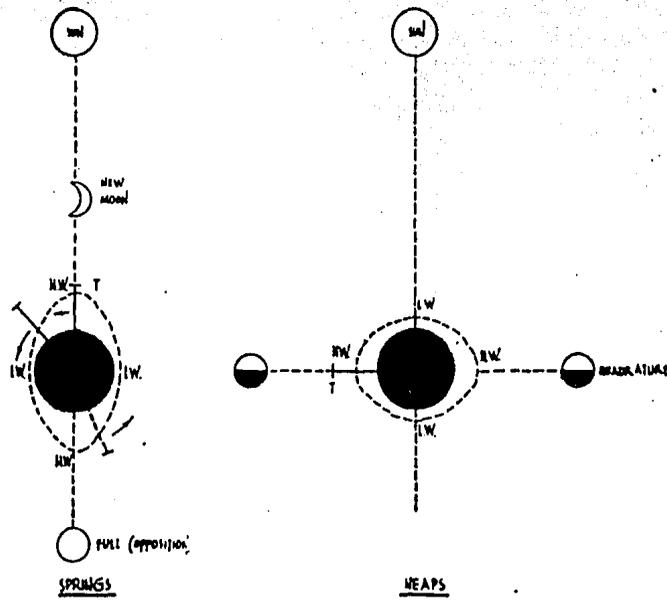


FIGURA 6

EL EFECTO DE LA DECLINACION EN LAS MAREAS. hasta aqui, no se ha considerado la declinación de la luna y la inclinación de la Tierra respecto a la eliptica. Como ya se dijo el Sol alcanza una declinación de 23.5 grados norte o sur y la Luna tiene una declinación de 5 grados 9 minutos respecto a al eliptica. Por lo que juntando la variación de la declinación del Sol y la inclinación de la orbita lunar se genera un ciclo de la declinación lunar que es de, aproximadamente, 28.5 grados norte o sur presentandose la declinación máxima cada 18.6 años. Generando un rango de declinación de 57 grados ocasionando una distribución asimétrica de la variación semidiurna. Si la declinación es muy grande la diferencia entre los máximos es muy notoria, si la declinación es poca, la diferencia en la variación semidiurna entre los máximos es pequeña, (fig 7).

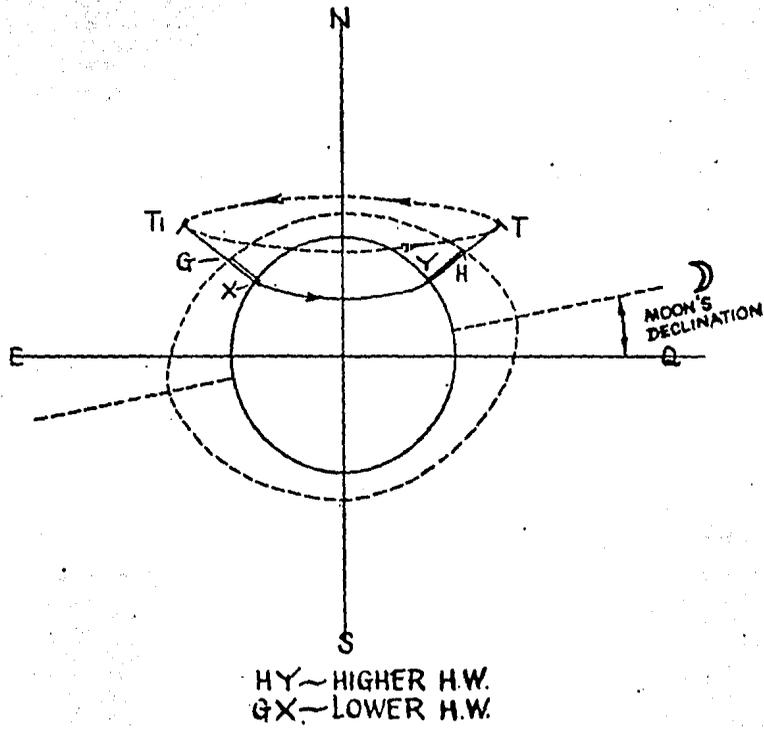
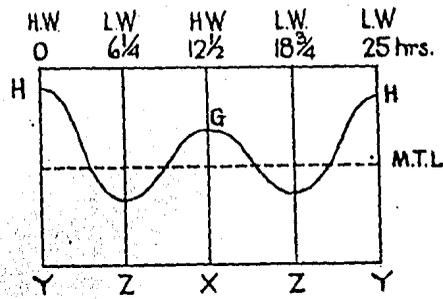


FIGURA 7

TABLA DE FACTORES ASTRONOMICOS DE LAS MAREAS. Esta tabla resume los efectos astronomicos productores de las mareas, su periodo, la descripción y la causa. Este sumario de causas y efectos esta tomado del libro "TIDES" de MacMillan (1971).

TABLA DE FACTORES ASTRONOMICOS PRODUCTORES DE LAS MAREAS

EFECTO DE MAREA	CICLO ASTRONOMICO PRODUCTOR	PERIODO	CAUSA
VARIACION SEMIDIURNA	INTERVALO ENTRE EL TRANSITO SUPERIOR E INFERIOR DE LA LUNA	12.4 HORAS	ROTACION DE LA TIERRA Y LA FUERZA TRACTIVA DE LA LUNA Y EL SOL.
VARIACION DIURNA	INTERVALO ENTRE EL TRANSITO SUPERIOR E INFERIOR DE LA LUNA Y/O EL SOL.	24.8 HORAS	DE LA LUNA Y/O SOL ROTACION TERRESTRE.
VARIACION QUINCENAL	MEDIA REVOLUCION DE LA ORBITA LUNAR.	14-76 DIAS	CONJUNCION CON EL SOL A OPOCICION, OPOCICION A CONJUNCION, O INTERVALO ENTRE ALINEAMIENTO DEL SOL-TIERRA-LUNA O SOL-LUNA-TIERRA(SYSYGIES)
VARIACION QUINCENAL ENTRE LA LUNA MAS BAJA Y LA MAS ALTA.	MAXIMA DECLINACION NORTE A MAXIMA DECLINACION SUR Y VICE-VERSA	13.6 DIAS	VARIA LA DECLINACION Y ROTACION TERRESTRE. EL ELIPSOIDE DE DEFORMACION POR MAREAS SE MANTIENE ALINEADO CON LOS CENTROS DE LA TIERRA Y LA LUNA.
VARIACION MENSUAL	CICLO ANOMALISTICO O DE PERIGEO A PERIGEO.	27.5 DIAS	VARIACION DE LAS FUERZAS TRACTIVAS DE LA LUNA POR LA VARIACION DE LA DISTANCIA.

EFECTO DE MAREA	CICLO ASTRONOMICO PRODUCTOR	PERIODO	CAUSA
VARIACION SEMESTRAL	MEDIA REVOLUCION TERRESTRE EN SU ORBITA, DANDO UN CICLO DE LA DECLINACION DEL SOL DE CERO AL EXTREMO NORTE O SUR Y REGRESO A CERO.	182.62 DIAS	MOVIMIENTO ORBITAL TERRESTRE.
VARIACION ANUAL	VARIACION DE LA DISTANCIA AL SOL.	365.24 DIAS	MOVIMIENTO DE LA TIERRA EN SU ORBITA ELIPTICA.
CICLO "APSIDES" LUNAR.	ROTACION DEL EJE DE LA ORBITA LUNAR	8.8 AÑOS	GRAVITACIONAL.
CICLO NODAL	REVOLUCION O REGRESION DE LOS NODOS LUNARES.	18.61 AÑOS	CICLO SOL-LUNA REFERIDO A LOS PLANOS DE ORBITA.
CICLO "METONIC"	CICLO DE RECURRENCIA DE LAS FASES LUNARES	19 AÑOS	CICLO SOL-LUNA REFERIDO AL PERIODO SINODICO.
CICLO "SAROS"	CICLO DE RECURRENCIA DE ECLIPSES, ESTO ES, COINCIDENCIA DE LOS CENTROS EN LA LINEA SOL-TIERRA-LUNA.	18.03 AÑOS	CICLO SOL-TIERRA-LUNA
CICLO DE PERIGEO, PERIHELIO, ALINEACION.	RECURRENCIA DE LAS POSICIONES DE LA TIERRA EN PERIHELIO LA LUNA EN PERIGEO Y ALINEADOS (SYSYBY) EN CONJUNCION O EN OPOSICION.	1600 AÑOS	CICLOS ORBITALES DE LA TIERRA Y LA LUNA Y LA ARMONIZACION DE LOS CICLOS ANOMALISTICO Y NODAL.

PROGRAMA

El pionero en el estudio de las mareas terrestres es G.H. Darwin que en el siglo pasado empezó a estudiarlas y a desarrollar la teoría para describir este fenómeno. Jeffreys(1962).

Sin embargo fue hasta los primeros años de este siglo que Heiland(1940) propuso un modelo teórico para describir la atracción de la luna y el sol sobre la superficie terrestre considerando a los tres cuerpos celestes como partículas rígidas y tomó como constantes las distancias entre la Tierra, la Luna y el Sol, considerando variable a la latitud.

Posteriormente se incorporó la variación de la distancia mediante la lectura directa de esta, o tomándola de tablas astronómicas.

Como esto no era práctico, Shureman(1941) planteó de otra forma el problema. Dejando a las distancias y los ángulos en función del tiempo. Aprovechando esa teoría Longman(1957), ideó un algoritmo para calcular la atracción ocasionada por la Luna y el Sol en cualquier punto de la superficie terrestre.

Utilizando el algoritmo desarrollado por Longman para la predicción de las mareas terrestres ocasionadas por el cambio de posición del Sol y la Luna, se desarrolló el

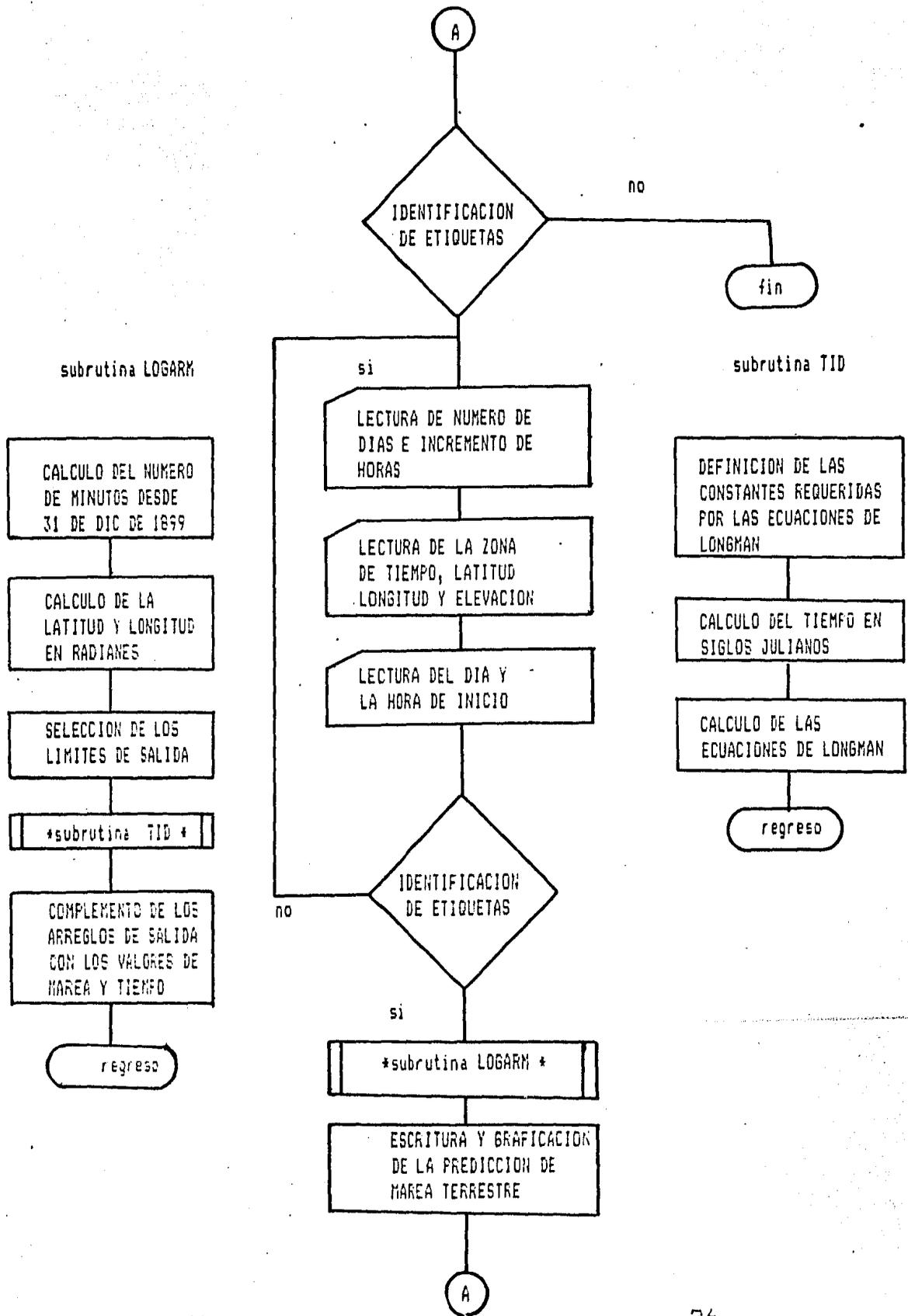
programa "MAREAS" en Fortran, el cual proporciona un pronóstico de las mareas terrestres, en cualquier punto de la superficie terrestre, para un intervalo de tiempo dado, partiendo del 31 de Diciembre de 1899 a las 24:00:00 horas. El programa mareas proporciona la componente vertical de la atracción del Sol y la Luna en miligales así como también gráfica estos valores. El caso de prueba utilizado en este programa está comparado con datos obtenidos por la Asociación Europea de Geofísicos de Exploración (EAEG). Garland(1950), Rudman et al (1978)

Como la teoría está desarrollada sobre la suposición de que la tierra es infinitamente rígida, fue necesario introducir un factor de elasticidad o factor de magnificación de 1.2 para obtener valores lo más próximos a los valores reales.

El programa original fue publicado por Rudman et al (1978), siendo modernizado y optimizado para tener un acceso más fácil, eficiente.

FLUJO DEL PROGRAMA.—El flujo del programa es muy sencillo como se puede apreciar en el diagrama. Comienza con la lectura de los parámetros de entrada por el programa principal MAREAS, después la subrutina LOGARM establece el tiempo relativo al 31 de Diciembre de 1899 en la variable `idate`, el tiempo local lo convierte a tiempo del meridiano

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA MAREAS



de Greenwich y llama a la función DEGRAD y a la subrutina LONGMAN, establece los arreglos de salida para el intervalo de tiempo requerido. La subrutina Longman contiene y evalúa el algoritmo de Longman para el cálculo de las mareas terrestres. La función DEGRAD convierte los grados a radianes. Finalmente el programa principal genera las gráficas de las mareas e imprime los resultados.

PARAMETROS DE ENTRADA.—Primero se requiere la lectura del número de días para el cual se quiere el pronóstico de las mareas (NUM) y el incremento de tiempo en horas (HINC). Después la zona de tiempo o diferencia de horas con el meridiano de Greenwich (IGMT). La posición geográfica, dando primero la Latitud y luego la Longitud, en grados, minutos, decimas (IPHI, PHI, LON, ALON) respectivamente y la elevación (H) en metros sobre el nivel del mar. Para concluir se da el día de inicio (IDAY), el mes (MONTH), año (IYEAR), hora (IHOOR) y los minutos (MINUTE).

PARAMETROS DE SALIDA.—El programa MAREAS proporciona el pronóstico de las mareas en una tabla que en el encabezado incluye la posición geográfica, el intervalo de tiempo, la fecha de inicio y el título. Dando a continuación el listado de resultados proporcionando el día, la hora, el valor de la marea para esa hora, y la gráfica, para cada una de las series de datos de entrada.


```

GO TO 102
100 WRITE(6,*)'          RECIBIRE MAS DATOS, ( 1=SI,0=NO )'
    READ(5,*)NN1
    IF(NN1.EQ.0) GOTO 400
    WRITE(6,*)
102 WRITE(6,*)'          CUAL ES EL TITULO'
    READ(5,101) TOTAL
    WRITE(6,*)' EL TITULO ES:  ',TOTAL
    WRITE(6,*)
101 FORMAT(A40)
    WRITE(6,*)'Para cuantos dias calculare las marea y cual es
^,el incremento del tiempo en horas (media hora=0.5). '
    READ(5,*) NUM,HINC
    WRITE(6,*)'NUMERO DE DIAS  ',NUM,'      INCREMENTO = ',HINC
    WRITE(6,*)
    WRITE(6,*)'Cual es la correccion de tiempo
^LA Latitud      grados,min.dec
^LA Longitud     grados,min.dec  ,Y LA Elevacion [m]'
    READ(5,*) IGMT, IPHI, PHI, LON, ALON, H
    WRITE(6,*)'Correccion',IGMT,'      Latitud',IPHI,PHI,
^'      Longitud',LON,ALON,'      ELEVACION',H
    WRITE(6,*)
    WRITE(6,*)'Proporcionar la fecha de inicio :
^Dia,Mes,An~o,Hora,Minutos'
    READ(5,*) IDAY, MONTH, IYEAR, IHOURL, MINUTE
    WRITE(6,*)'DIA=',IDAY,'      MES=',MONTH,'      An~o=',IYEAR,
^'      HORA=',IHOURL,'      MINUTOS=',MINUTE
    WRITE(6,*)
    WRITE(6,*)' TODOS LOS DATOS ESTAN BIEN, ( 1=SI,0=NO )'
    READ(5,*)NN2
    IF(NN2.EQ.0) GOTO 102

```

```

C !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
C !!!!!!!      SET LEAPDA TO 1 IF LEAP YEAR.      !!!!!!!
C !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

```

```

LEAPDA=0
YEAR=IYEAR
IF(((YEAR/4.0).EQ.FLOAT(IYEAR/4)).AND.(MONTH.GE.3.0))LEAPDA=1

```

```

C !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
C !!!!!!!      PREPARACION DE LOS PARAMETROS PARA INCREMENTAR      !!!!!!!
C !!!!!!!      LA MAREA      !!!!!!!
C !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

```

```

INC=1.0/HINC
NCALC=NUM*(24.)*INC

CALL LOGARM (TOTAL, ARMTID, IIDAY, HHOURL, JUM, LEAPDA)

```

```

C !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
C !!!!!!!      ARREGLO DE LOS PARAMETROS DE GRAFICACION EN      !!!!!!!
C !!!!!!!      EL ARREGLO "P"      !!!!!!!
C !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

```

```

DO 200 I=1,101
200 P(I)=BLANK
P(1)=DOT
P(51)=DOT
P(101)=DOT

```

```
C !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
C !!!!!!!   CALCULO E IMPRESION DE LOS VALORES DE LA MAREA           !!!!!!!
C !!!!!!!   EN MILIGALES                                           !!!!!!!
C !!!!!!!   PREPARANDO EL ARREGLO DE VALORES DE MAREAS PARA        !!!!!!!
C !!!!!!!   LA GRAFICACION SIENDO UNA PULGADA IGUAL A 0.05 [mGal]  !!!!!!!
C !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
```

```
DO 3000 I=1, JUM
  K=ARMTID(I)*200. +51. 5
  P(K)=STAR
  WRITE(6,345) IIDAY(I), H HOUR(I), ARMTID(I), P
345 FORMAT(I4, F7. 1, 3X, F6. 3, 3X, I01A1)
  IF(K. NE. 51) P(K)=BLANK
  IF(K. EQ. 51) P(K)=DOT
3000 CONTINUE
```

```
C !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
C !!!!!!!   REGRESA AL PRINCIPIO PARA MAS DATOS DE ENTRADA         !!!!!!!
C !!!!!!!   SI LA ENTRADA ES "9999,0" , FIN DEL PROGRAMA          !!!!!!!
C !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
```

```
GO TO -100
400 STOP
END
```

```

C !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
C !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
C !!!!!!!
C !!!!!!! SUBRUTINAS
C !!!!!!!
C !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
C !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

```

SUBROUTINE LOGARM (TOTAL, ARMTID, IIDAY, HHOUR, JUM, LEAPDA)

```

C !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
C !!!!!!! LA SUBROUTINA LOGARM CONVIERTE YEAR, DAY, HOUR, MINUTE !!!!!!!
C !!!!!!! A "IDATE" EN MINUTOS DENTRO DE UN CONTADOR. !!!!!!!
C !!!!!!! EL TIEMPO LOCAL SE CONVIERTE A G. M. T. , LA LATITUD !!!!!!!
C !!!!!!! Y LA LONGITUD GEOGRAFICA SE CONVIERTEN A RADIANES !!!!!!!
C !!!!!!! ADEMAS LOGARM LLAMA A LA SUBROUTINA TID LA CUAL !!!!!!!
C !!!!!!! CALCULA LOS VALORES PARA LAS MAREAS TERRESTRES A !!!!!!!
C !!!!!!! PARTIR DEL ALGORITMO DE LONGMAN, CREANDO UNA SALIDA !!!!!!!
C !!!!!!! ACORDE A LOS INTERVALOS ESTABLECIDOS. !!!!!!!
C !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

```

```

COMMON NUM, HINC, IGMT, IPHI, PHI, LON, ALON, H, IDAY, MONTH, IYEAR, IHOUR,
^MINUTE
DIMENSION ARMTID(2001), IIDAY(2001), HHOUR(2001)
REAL LATMIN, LONMIN
CHARACTER*40 TOTAL

```

```

C !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
C !!!!!!! CALCULO DEL VALOR PRELIMINAR DE IDATE !!!!!!!
C !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

```

```

IYEAR=IYEAR+1900
GO TO(110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121), MONTH
110 IDATE=IDAY
GO TO 125
111 IDATE=IDAY+31.
GO TO 125
112 IDATE=IDAY+59.
GO TO 125
113 IDATE=IDAY+90.
GO TO 125
114 IDATE=IDAY+120.
GO TO 125
115 IDATE=IDAY+151.
GO TO 125
116 IDATE=IDAY+181.
GO TO 125
117 IDATE=IDAY+212.
GO TO 125
118 IDATE=IDAY+243.
GO TO 125
119 IDATE=IDAY+273.
GO TO 125
120 IDATE=IDAY+304.
GO TO 125
121 IDATE=IDAY+334.
125 YEAR=IYEAR

```

```

C !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
C !!!!!!!      CALCULA IDATE PARA LA PREDICION DE LAS MAREAS      !!!!!!!
C !!!!!!!      PARTIENDO DEL 31 DE DICIEMBRE DE 1899, A LAS 1200 GCT. !!!!!!!
C !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

```

```

      JDAY=IDATE+LEAPDA
      IDATE=IDATE+(IYEAR-1900.)/4. +1.
      .IF(YEAR/4. -FLOAT(IYEAR/4)) 145, 135, 145
135 IF(MONTH-3. ) 140, 145, 145
140 IDATE=IDATE-1.
145 IDATE=(IYEAR-1900.)*525600. +(IDATE-2.)*1440. +(IHOURL+IGMT)*
      ^60. +MINUTE+720.

```

```

C !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
C !!!!!!!      PARAMETROS DEL INICIO DE LA IMPRESION DE SALIDA      !!!!!!!
C !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

```

```

      LATMIN=PHI
      LONMIN=ALON
      WRITE(6, 1500)
1500 FORMAT(1HO, 31X, 'GRAVITATIONAL TIDE PREDIC
      ^TION')
      WRITE(6, *)
      WRITE(6, *)
      WRITE(6, 1556) TOTAL
1556 FORMAT(BOX, A40)
      WRITE(6, *)
      WRITE(6, *)' LOCATION: '
      WRITE(6, *)' LATITUDE ', IPHI, LATMIN
      WRITE(6, *)' LONGITUDE ', LON, LONMIN
      WRITE(6, *)' ELEVATION ', H, ' [METERS]'
      WRITE(6, *)
      WRITE(6, *)' TIME ZONE CORRECTION USED ', IGMT
      WRITE(6, *)
      WRITE(6, *)' STARTING: '
      WRITE(6, *)' DAY ', IDAY
      WRITE(6, *)' MONTH ', MONTH
      WRITE(6, *)' YEAR ', IYEAR
      WRITE(6, *)' HOUR ', IHOURL
      WRITE(6, *)' MINUTES ', MINUTE
      WRITE(6, *)
      WRITE(6, *)' FOR: ', NUM, ' DAYS'
      WRITE(6, 1650)
1650 FORMAT(1HO, 2X, 'DAY', 2X, ' HOUR ', 1X, 'TIDE[MG]', 2X, '-0.250', 42X,
      ^'TIDE', 47X, '+0.250')

```

```

C !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
C !!!!!!!      CALCULO DE LA LATITUD Y LONGITUD EN RADIANES      !!!!!!!
C !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

```

```

PHIR=DEGRAD(JPHI, PHI)
ALONR=DEGRAD(LON, ALON)

```

```
C !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
C !!!!!!! GENERACION DE UN LOOP DETERMINADO POR JUM PARA !!!!!!!
C !!!!!!! EL CALCULO DELA MAREA !!!!!!!
C !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
```

```
JUM=FLOAT(NUM)*24./HINC+1
HOUR=FLOAT(IHOUR)-HINC
DO 300 I=1, JUM
    IT=(I-1)*IFIX(60.*HINC)
```

```
C !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
C !!!!!!! ESTABLECIENDO "JDATE" PARA EL CALCULO DE LA MAREA !!!!!!!
C !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
```

```
JDATE=IDATE+IT
HOUR=HOUR+HINC
IF(HOUR.GT.24.) JDAY=JDAY+1.
IF(HOUR.GT.24.) HOUR=HOUR-24.
```

```
C !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
C !!!!!!! CALL TID (PHIR, JDATE, H, ALQNR, TIDE2 ) !!!!!!!
C !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
```

```
CALL TID (PHIR, JDATE, H, ALQNR, TIDE2)
```

```
C !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
C !!!!!!! COMPLETANDO LOS ARREGLOS DE DATOS PARA REGRESARLOS !!!!!!!
C !!!!!!! AL PROGRAMA PRINCIPAL !!!!!!!
C !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
```

```
ARMTID(I)=TIDE2
IIDAY(I)=JDAY
HHOUR(I)=HOUR
300 CONTINUE
RETURN
END
```

SUBROUTINE TID (PHIR, IDATE, H, ALONR, GOO)

C !!!
C !!!!!!! SUBROUTINA "TID" CALCULA LOS VALORES DE LAS MAREAS !!!!!!!
C !!!!!!! TERRESTRES PARA "LOGARM" UTILIZANDO LAS ECUACIONES !!!!!!!
C !!!!!!! DE LONGMAN 1959, JGR, VOL 64, No 12, P 2351. !!!!!!!
C !!!

C !!!
C !!!!!!! LA SIGUIENTE LISTA DE CONSTANTES FUE UTILIZADA POR !!!!!!!
C !!!!!!! LONGMAN PARA PREDECIR LAS MAREAS. POR EJEMPLO, !!!!!!!
C !!!!!!! "SMALA" ES EL RADIO ECUATORIAL TERRESTRE. ETC. LAS !!!!!!!
C !!!!!!! CONSTANTES PUEDEN SER IDENTIFICADAS FACILMENTE DE LA !!!!!!!
C !!!!!!! LISTA DE TERMINOS DADA POR LONGMAN EN LAS PAGINAS !!!!!!!
C !!!!!!! 2351-2352 !!!!!!!
C !!!

DOUBLE PRECISION GS
SMLA=6.37827 E08
SMLC1=1.495 E13
SMLE=5.489972 E-02
SMLM=7.4804 E-02
OMEGA=4.09314616170 E-01
AMU=6.670 E-08
BIGM=7.3537 E25
BIGS=1.993 E33
SMLC=3.84402 E10
SMLI=8.9797190013 E-02
SMLAP=1.0/(SMLC*(1.0-SMLE**2))
CON1=.006738
CON2=.01675104
CON3=.00004180
CON4=.000000126
CON5=4.90822946677
CON6=3.000526417 E-02
CON7=7.90246 E-06
CON8=5.818 E-08
CON9=4.72002344
CON10=8399.70930
CON11=4.406956 E-05
CON12=3.297 E-08
CON13=5.8312472
CON14=71.0180093
CON15=1.8054461 E-04
CON16=2.1817 E-07
CON17=4.82162793402
CON18=628.331950978
CON19=5.27962 E-06
CON20=0.261799387794
CON21=4.52359857
CON22=33.7571530
CON23=3.674898 E-05
CON24=3.878 E-08
PI2=6.28318530718
SNPHI=SIN(PHIR)
CSPHI=COS(PHIR)

C !!!
C !!!!!!! "T" ES EL TIEMPO EN SIGLOS JULIANOS !!!!!!!
C !!!

T=FLOAT(IDATE)/52596000.
T2=T**2
T3=T*T2
BIGC=SQRT(1. 0/(1. 0+CON1*SNPHI**2))

C !!!
C !!!!!!! LAS SIGUIENTES 9 INSTRUCCIONES CORRESPONDEN CON LAS !!!!!!!
C !!!!!!! ECUACIONES DE LONGMAN NUMERO 33, 27, 32, 26, 10, 11, !!!!!!!
C !!!!!!! 12, 30, Y 29. !!!!!!!
C !!!

SMLR=BIGC*SMLA+H*100. 0
SMLEI=CON2-CON3*T-CON4*T2
SMLAPI=1. 0/(SMLC1*(1. 0-SMLEI**2))
SMLPI=CON5+CON6*T+CON7*T2+CON8*T3
SMLS=CON9+CON10*T+CON11*T2+CON12*T3
SMLP=CON13+CON14*T-CON15*T2-CON16*T3
SMLH=CON17+CON18*T+CON19*T2
BIGRD=1. 0/SMLC1+SMLAPI*SMLEI*COS(SMLH-SMLPI)
SMLRD=1. 0/SMLC+SMLAP*SMLE*COS(SMLS-SMLP)+SMLAP*SMLE**2*COS(2. 0*
^(SMLS-SMLP))+(15. 0/8. 0)*SMLAP*SMLM*SMLE*COS(SMLS-2. 0*SMLH+SMLP)+
^SMLAP*SMLM**2*COS(2. 0*(SMLS-SMLH))

SMLTO=FLOAT(IDATE -(IDATE /1440)*1440)/60. 0*CON20
IF(ALONR) 229, 228, 226
226 IF(SMLTO+ALONR-PI2) 228, 233, 227
227 SMLT=SMLTO+ALONR-PI2
GO TO 234
228 SMLT=SMLTO+ALONR
GO TO 234
229 IF(SMLTO + ALONR) 231, 233, 228
231 SMLT=SMLTO+ALONR+PI2
GO TO 234
233 SMLT=0. 0

C !!!
C !!!!!!! LAS SIGUIENTES 4 LINEAS SON LAS EC. 28, 25, 19, Y 20 !!!!!!!
C !!!

234 CHI1=SMLT+SMLH
SMLL1=SMLH+2. 0*SMLEI*SIN(SMLH-SMLPI)
BIGN=CON21-CON22*T+CON23*T2+CON24*T3
CSBIGI=COS(OMEGA)*COS(SMLI)-SIN(OMEGA)*SIN(SMLI)*COS(BIGN)

SNBIGI=SQRT(1. 0-CSBIGI**2)
BIGI=ATAN2(SNBIGI, CSBIGI)
SNGNU=SIN(SMLI)*SIN(BIGN)/SNBIGI
CSGNU=SQRT(1. 0-SNGNU**2)

C !!!
 C !!!!!!! LAS SIGUIENTES 10 INSTRUCCIONES SON LAS EC. !!!!!!!
 C !!!!!!! 21, 23, 15, 16, 18, 14, 13, 9, 8, AND 7. !!!!!!!
 C !!!

```

GNU=ATAN2(SNGNU, CSGNU)
CHI=SMLT+SMLH-GNU
CSALFA=COS(BIGN)*CSGNU+SIN(BIGN)*SNGNU*COS(OMEGA)
SNALFA=SIN(OMEGA)*SIN(BIGN)/SNBIGI
ALFA=2.0*ATAN(SNALFA/(1.0+CSALFA))
ETA=BIGN-ALFA
SIGMA=SMLS-ETA
SM2=(2.0)*(SMLS-SMLH)
SMLL=SIGMA+2.0*SMLE*SIN(SMLS-SMLP)+1.25*SMLE**2*SIN(2.0*(SMLS-
^SMLP))+3.75*SMLM*SMLE*SIN(SMLS-2.0*SMLH+SMLP)+(11.0/8.0)*
^(SMLM**2)*SIN(SM2)
CSFEE=SNPHI*SIN(OMEGA)*SIN(SMLL1)+CSPHI*(COS(OMEGA/2.0)**2*COS
^(SMLL1-CHI1)+SIN(OMEGA/2.0)**2*COS(SMLL1+CHI1))
CSTHET=SNPHI*SNBIGI*SIN(SMLL)+CSPHI*(COS(BIGI/2.0)**2*COS(SMLL-
^CHI)+SIN(BIGI/2.0)**2*COS(SMLL+CHI))

G1=AMU*BIGS
G10=BIGRD*BIGRD
G3=(3.0*(CSFEE**2)-1.0)
G11=G1*G10*G3
GS=G11*SMLR*BIGRD

```

C !!!
 C !!!!!!! LA ECUACIONE FINALES PARA EL CALCULO DE LA COMPONENTE !!!!!!!
 C !!!!!!! VERTICAL DE LA ATRACCION DEL SOL Y LA LUNA ES "G00" !!!!!!!
 C !!!!!!! LAS SIGUIENTES ECUACIONES SON: 3, 1, Y 5. !!!!!!!
 C !!!

```

GS=AMU*BIGS*SMLR*BIGRD**3*(3.*CSFEE**2-1.)
GM=AMU*BIGM*SMLR*SMLRD**3*(3.0*CSTHET**2-1.0)+1.5*AMU*BIGM*SMLR**
^2*SMLRD**4*(5.0*CSTHET**3-3.0*CSTHET)

```

C !!!
 C !!!!!!! EL FACTOR DE CONVERSION DE GALES A MILIGALES DE 1200 !!!!!!!
 C !!!!!!! ESTA BASADO EN EL FACTOR DE MAGNIFICACION DE LOVE !!!!!!!
 C !!!!!!! Y ES DCACIONADO POR NO SER LA TIERRA RIGIDA !!!!!!!
 C !!!

```

G00=(GM+GS)*1200.0

```

```

RETURN
END

```

FUNCTION DEGRAD(JDEG, AMIN)

C !!!
C !!!!!!! DEGRAD CONVIERTE GRADOS + MINUTOS..... A RADIANES !!!!!!!
C !!!

ALFA=0.1745329251 E-01
BETA=0.290888208666 E-03

A=JDEG
IF(A) 100,200,300

100 DEGRAD=A*ALFA-AMIN*BETA

GO TO 400

200 DEGRAD=AMIN*BETA

GO TO 400

300 DEGRAD=A*ALFA+AMIN*BETA

C !!!
C !!!
C !!!!!!!
C !!!!!!! ESTO ES TODO !!!!!!!
C !!!!!!!
C !!!
C !!!
C !!!

400 RETURN
END

DATOS DE ENTRADA PARA LA CORRIDA DE PRUEBA.

A PRIMERA "TARJETA" DE ENTRADA ES EL TITULO DE LA CORRIDA, PUEDE CONTENER NUMEROS O LETRAS Y TIENE UN FORMATO DE ESCRITURA LIBRE DE 40 CARACTERES.

A SEGUNDA "TARJETA" CONTIENE EL NUMERO DE DIAS PARA EL CUAL SE VA A EFECTUAR LA PREDICCION DE LAS MAREAS Y EL INCREMENTO DE TIEMPO, (MEDIA HORA IGUAL A 0.5). AMBOS DATOS SE DAN EN FORMATO LIBRE.

A TERCERA "TARJETA" CONTIENE LA LOCALIZACION DEL PUNTO EN LA SUPERFICIE TERRESTRE DE LA SIGUIENTE FORMA: (1)ZONA DE CORRECCION DE TIEMPO, (2)LOS GRADOS, LOS MINUTOS DE LATITUD, (3) LOS GRADOS, LOS MINUTOS DE LONGITUD, (4)LA ELEVACION SOBRE EL NIVEL DEL MAR EN METROS. TODOS LOS FORMATOS SON LIBRES. SI LA LATITUD ES NORTE LOS VALORES SON POSITIVOS Y SI ES SUR SON NEGATIVOS. SI LA LONGITUD ES OESTE SE DA POSITIVA Y SI ES ESTE NEGATIVA. LA CORRECCION DE TIEMPO ES POSITIVA AL OESTE Y NEGATIVA AL ESTE.

A CUARTA "TARJETA" CONTIENE LOS PARAMETROS DEL TIEMPO DE INICIO PARA LA PREDICCION DE MAREAS, PRIMERO SE DA EL DIA, EL MES, Y EL AÑO. DESPUES SE DA LA HORA Y LOS MINUTOS. TODOS LOS FORMATOS SON LIBRES.

A QUINTA "TARJETA" SOLO CONTESTA UNA PREGUNTA RESPECTO A LOS DATOS DE ENTRADA. SI ESTAN BIEN TODOS LOS DATOS SE ESCRIBE UN UNO Y SI ESTAN MAL SE ESCRIBE UN CERO.

A SEXTA "TARJETA" ES LA RESPUESTA A OTRA PREGUNTA. SI SE ESCRIBE UN UNO LA MAQUINA AUTOMATICAMENTE VA A PEDIR MAS DATOS PARA HACER OTRA PREDICCION DE MAREAS Y SI SE ESCRIBE UN CERO SERA EL FIN DEL PROGRAMA.

CONTINUACION SE REPRODUCE LA SERIE DE PREGUNTAS QUE APARECEN EN PANTALLA AL CORRERSE EL PROGRAMA DE PRUEBA, ASI COMO LAS RESPUESTAS A ESTAS PREGUNTAS.

P> CUAL ES EL TITULO
R> CORRIDA DE PRUEBA

P> Para cuantos dias calculare las marea y cual es el incremento del tiempo en horas (media hora=0.5).
R> 1,0.5

P> Cual es la correccion de tiempo, LA Latitud en grados,min.dec, LA Longitud en grados,min.dec Y LA Elevacion [m].
R>5,39,10.51,-86,31.16,243.80

P> Proporcionar la fecha de inicio :Dia,Mes,Año,Hora,Minutos
R>30,12,76,0,0

P> TODOS LOS DATOS ESTAN BIEN, { 1=SI,0=NO }
R> 1

P> RECIBIRE MAS DATOS, { 1=SI,0=NO }
R> 0

SALIDA DEL PROGRAMA MAREAS PARA EL CASO DE PRUEBA.

OS VALORES DE LA MAREA TERRESTRE FUERON CALCULADOS PARA
 L 31 DE DICIEMBRE DE 1976, EN BLOOMINGTON, IND. USA. LA ESCALA
 E GRAFICACION ES UNA PULGADA IGUAL A 0.05 MILIGALES.

G R A V I T A T I O N A L T I D E P R E D I C T I O N

CORRIDA DE PRUEBA

LOCATION:

LATITUDE 39 10.51000
 LONGITUDE -86 31.16000
 ELEVATION 243.8000 (METERS)

TIME ZONE CORRECTION USED

5

STARTING:

DAY 30
 MONTH 12
 YEAR 1976
 HOUR 0
 MINUTES 0

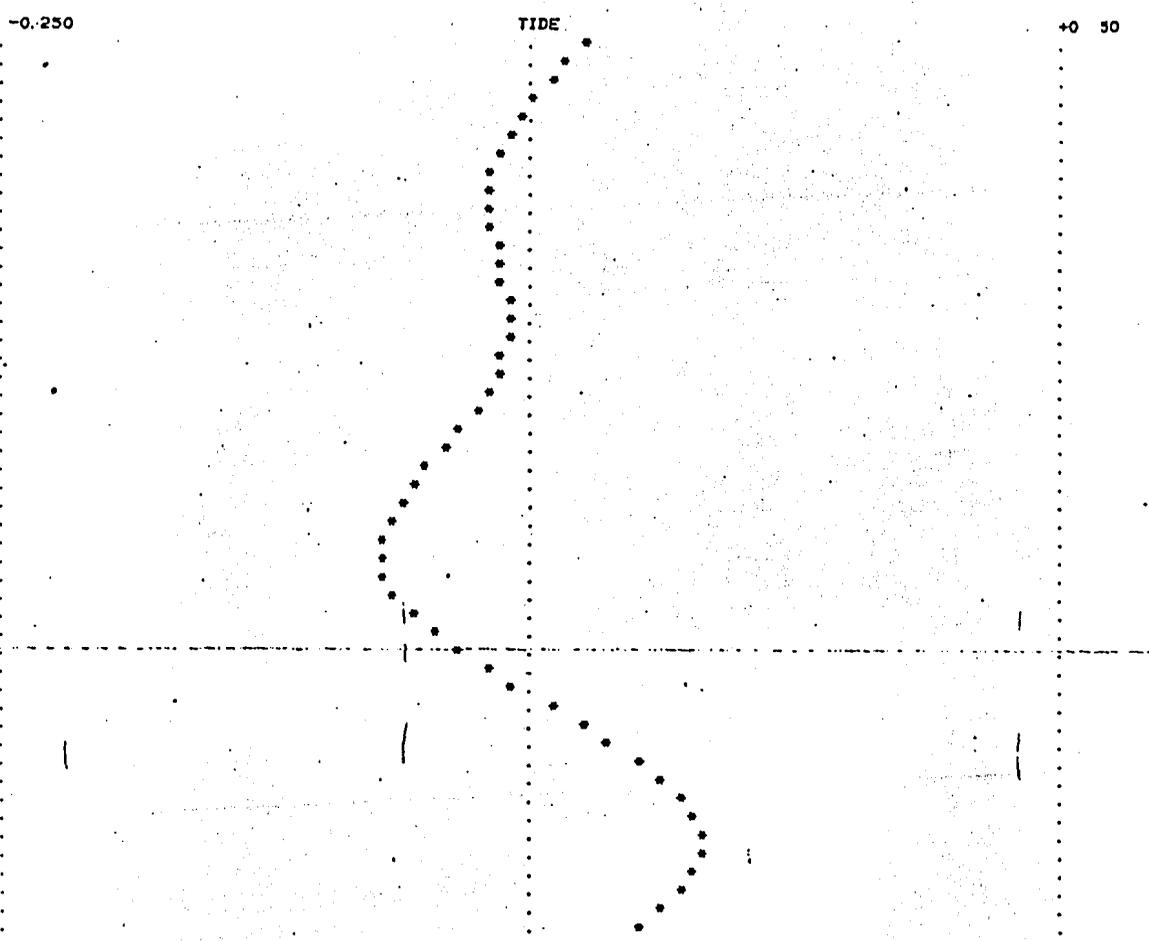
FOR:

1 DAYS

DAY	HOUR	TIDE(MG)	-0.250
364	0.0	0.026	
364	0.5	0.017	
364	1.0	0.009	
364	1.5	0.001	
364	2.0	-0.006	
364	2.5	-0.012	
364	3.0	-0.016	
364	3.5	-0.019	
364	4.0	-0.020	
364	4.5	-0.020	
364	5.0	-0.019	
364	5.5	-0.017	
364	6.0	-0.016	
364	6.5	-0.014	
364	7.0	-0.012	
364	7.5	-0.012	
364	8.0	-0.012	
364	8.5	-0.014	
364	9.0	-0.017	
364	9.5	-0.022	
364	10.0	-0.027	
364	10.5	-0.034	
364	11.0	-0.041	
364	11.5	-0.048	
364	12.0	-0.055	
364	12.5	-0.061	
364	13.0	-0.066	
364	13.5	-0.069	
364	14.0	-0.069	
364	14.5	-0.069	
364	15.0	-0.063	
364	15.5	-0.056	
364	16.0	-0.047	
364	16.5	-0.036	
364	17.0	-0.022	
364	17.5	-0.008	
364	18.0	0.008	
364	18.5	0.023	
364	19.0	0.037	
364	19.5	0.051	
364	20.0	0.062	
364	20.5	0.071	
364	21.0	0.077	
364	21.5	0.080	
364	22.0	0.080	
364	22.5	0.077	
364	23.0	0.071	
364	23.5	0.062	
364	24.0	0.052	

TIDE

+0 50



RELACION SISMOS-MAREAS.

Durante este siglo, se ha tratado de relacionar la ocurrencia de temblores con una gran cantidad de fenómenos naturales, tales como la presencia de cometas y meteoritos, manchas solares, pasando por variaciones barométricas, temperatura, lluvias, así como también la variación de la gravedad debida al cambio de posición del Sol y la Luna (RYALL et al 1967). Desde la aparición de la teoría de la tectónica de placas se han relacionado los sismos con los procesos tectónicos que actúan en el planeta. Recientemente se han estudiado las posibles relaciones de los fenómenos naturales que actúan en la superficie de la Tierra y los fenómenos externos con los mecanismos disparadores o iniciadores de los sismos.

De todos los fenómenos periodicos que se han tratado de relacionar con el inicio o disparo de sismos, la acción más probable es la marea terrestre, que por su propio origen, es una fuerza deformadora periodica que varía rápidamente, cambiando de dirección y sentido en periodos que van desde doce horas, hasta mil seiscientos años (ver tabla del capítulo anterior). En la relación entre los sismos y las mareas terrestres se han dividido las opiniones de los investigadores en dos teorías: Unos han encontrado evidencias sobre la relación existente entre la

ocurrencia de sismos y las mareas terrestres, (Ryall et al 1968, Tamrazyan 1968, Hamilton 1972, Knopoff 1964, etc), mientras que otros no han encontrado ningun tipo de relación entre estos fenómenos. A continuación se analizarán cuatro trabajos representativos de estos estudios, en general todos los trabajos consultados (ver bibliografía) se refieren a estos cuatro trabajos.

ALLEN en 1936 publico que la dificultad para poder relacionar estos dos fenómenos tiene dos aspectos; el primer obstaculo es la aparente creencia de que las fuerzas de marea producidas por la Luna, pasan a ser dentro de la Tierra esfuerzos productores de sismos, despues este obstaculo fue removido a que la influencia lunar solo es la fuerza disparadora de sismos, que desencadena esfuerzos acumulados mucho mayores. El segundo obstaculo es la idea de que el efecto inducido por la Luna es el mismo sobre toda la superficie del planeta, sin considerar que los sismos de una región son producidos por diferentes zonas de fallas y diferentes acumulaciones de esfuerzos, que los sismos de otra región y la distribución del efecto de las mareas varía de un lugar a otro.

Por su parte RYALL, VanWORMER Y JONES (1968), publicaron, lo que hasta la fecha es la mejor relación encontrada entre ambos fenómenos. Utilizando 79 eventos

localizados de la secuencia de replicas del sismo del 12 de septiembre de 1966 en Trukee, California, la cual se comparo gráficamente datos de la variación de la marea registrada para el mismo periodo de tiempo, encontrandose una gran similitud en el periodo de las dos series, (el cual es de 25 horas). Se encontro que el máximo de la ocurrencia de los sismos coincidio con el mínimo de la marea terrestre. Se efectuo la correlación cruzada de la ocurrencia de sismos y la marea. De este estudio se encontro una correlación estadísticamente alta, despues se calculo el espectro de potencia para la traza sismica y se confirmo que su periodo era identico al de la marea e igual a 25 horas. Al igual que Allen, estos autores formularón reglas para poder encontrar alguna relación entre estos dos fenómenos: 1) un número significativo, estadísticamente, de eventos en un periodo corto de tiempo. 2) los sismos se originen en una región pequeña. Y 3) que los esfuerzos acumulados en la región se mantengan relativamente constantes.

El trabajo realizado por KNOPOFF en 1964 es casi siempre utilizado como punto de comparación en los estudios de mareas terrestres y sismos. Knopoff utilizó los sismos registrados por la red de Pasadena, California, entre los años de 1934 a 1957. Para cada uno de estos eventos calculó

la marea terrestre en un periodo de 12 horas antes y 12 horas después del evento principal, midió el tiempo entre el máximo y el mínimo más cercano obteniendo periodos que van de 4 a 8 horas. Luego el tiempo entre máximo y mínimo lo dividió en 50 unidades, de 0 a 50 y el tiempo entre mínimo y máximo también lo dividió en 50 unidades, entre 50 y 100, así estableció en que parte del periodo había ocurrido el sismo, si era entre 0 y 50, estaba en disminución la marea, y por el contrario si ocurría entre 50 y 100 la marea estaba en ascenso. De su estudio no encontró ninguna correlación entre sismos y mareas para la costa de California entre los años de 1934 a 1957, incluso sustituyó la ocurrencia de sismos por números aleatorios obteniendo los mismos resultados, con lo que concluyó la falta de relación entre estos dos fenómenos.

SHLIEN (1972) calculó que las fuerzas de marea introducen esfuerzos del orden de 5 mBares, siendo estos muy pequeños en comparación con los esfuerzos tectónicos de la Tierra, pero son periodicos y varían rápidamente. Shlien(1972) propone que la región sísmica de estudio requiera mostrar las siguientes características para poder encontrar alguna relación. 1) Que este próxima al Ecuador, donde los efectos de la marea son mayores. 2) Que sean representativas de regiones tectónicas activas y no activas

3) Que exista un número razonable de eventos para obtener datos estadísticos confiables. Shlien calculó la variación de la marea para 12 horas antes y después del evento principal y trabajó de la misma forma que Knopoff (1964). Para cumplir con la segunda condición que se impuso dividió su trabajo en dos partes: En la primera trabajo con series de datos de diferentes regiones tomadas entre los años de 1961 a 1970, tratando de relacionar la ocurrencia de sismos con la variación de las mareas. En la segunda parte realizó un análisis de las réplicas del sismo de Shikotan, Japon ocurrido en agosto 11 de 1969. Aprovechando que en un periodo corto de tiempo ocurre una gran cantidad de eventos, de agosto 11 a septiembre 4 registró más de 1000 eventos con los que realizó una serie cuasi-continua de datos con intervalos de una hora, los comparo gráficamente, sin observar ninguna relación. Después efectuó una correlación cruzada entre la marea calculada y los eventos ocurridos en los primeros 15 días sin encontrar ninguna correlación entre las dos series, finalmente sustituyo los valores de marea por números aleatorios obteniendo los mismos resultados.

En todos los trabajos consultados se observa que la relación buscada entre la ocurrencia de sismos y las mareas terrestres solo puede ser observada cuando existe una

cantidad de datos estadísticos suficientes de una región. Si se trata de un solo evento y su serie de réplicas se puede hacer la comparación de las gráficas de marea y ocurrencia de sismos y se puede efectuar una "correlación" mediante la fórmula propuesta por cada autor. En todos los trabajos que no presentan ninguna relación entre las dos gráficas, no se obtiene ningún resultado positivo con la correlación. De acuerdo a los trabajos consultados, analizando las discrepancias, contradicciones y concordancias y con base en el estudio de mareas, es razonable suponer que, si las mareas terrestres son un mecanismo disparador o iniciador de sismos, entonces la forma óptima para poder detectar este efecto es: 1) Que se tenga registrado un número significativo de sismos en un período corto de tiempo, 2) Que estos ocurran en una región limitada. Y 3) Que dicha región presente las mismas características sísmicas y/o tectónicas.

DESCRIPCIÓN DE LOS DATOS DISPONIBLES.

Para este trabajo se escogieron dos series de datos para buscar la relación entre las mareas terrestres y la ocurrencia de sismos.

La primera serie consta de los sismos de magnitud $m_s \geq 7$ ocurridos en la costa del Pacífico en la región que

comprende a los estados de Jalisco, Michoacan, Guerrero y Oaxaca, entre los años de 1900 a 1985, esta serie puede ser considerada como un número significativo de eventos, debido a su magnitud, y todos ocurrieron dentro de la misma zona tectónica. Para cada uno de estos eventos se calculó la marea terrestre desde 12 horas antes hasta 12 horas después del sismo.

La segunda serie de datos consiste DE los premonitores (foreshocks), evento principal y réplicas (aftershocks) del sismo del 29 de noviembre de 1978 en Oaxaca, Ms=7.8. El cual pudo ser bien estudiado debido a la predicción realizada por Ohtake et al (1977), lo que permite una buena oportunidad de encontrar alguna relación entre la ocurrencia de sismos y mareas.

En la tabla de la siguiente hoja se muestra el catalogo de sismos ($m_s \geq 7$) de la zona de subducción mexicana, en la costa del Pacífico, ocurridos a partir de 1900. Este catalogo esta basado en el catalogo publicado por Singh et al (1961), asi como tambien de la tabla publicada por Miyamura et al (1976), y los eventos utilizados en los estudio comparativo de la forma de onda P realizados por Singh et al (1984). Si los datos de la ubicación de un sismo se han recalculado por algun autor debido a algún estudio especial, de mayor detalle, se

CATALOGO DE SISMOS DE MAGNITUD MS MAYOR O IGUAL A 7.0
DE LA ZONA DE SUBDUCCION MEXICANA DE 1900 A 1985

EVENTO	FECHA	HORA(*)	LAT(N)	LONG(W)	MS	REGION
01	20 ENE 00	00:33:30.0	20.00	105.00	7.9	JAL-COSTA
02	16 MAY 00	14:12:00.0	20.00	105.00	7.4	JAL-COSTA
03	13 ENE 03	19:47:36.0	15.00	98.00	8.1	OAX-COSTA
04	15 ABR 07	00:08:06.0	16.70	99.20	8.0	GRO
05	26 MAR 08	15:03:30.0	16.70	99.20	8.1	GRO
06	26 MAR 08	21:45:30.0	17.00	101.00	7.5	GRO-COSTA
07	30 JUL 09	04:51:54.0	16.80	99.90	7.4	GRO-COSTA
08	07 JUN 11	05:02:42.0	19.70	103.70	7.7	COL
09	16 DIC 11	13:14:18.0	16.90	100.70	7.5	GRO-COSTA
10	29 DIC 17	16:50:20.0	15.00	97.00	7.7	OAX
11	21 MAR 28	22:17:03.2	16.23	95.45	7.7	OAX
12	16 JUN 28	21:19:28.2	16.33	96.70	8.0	OAX
13	04 ABO 28	12:28:16.6	16.83	97.61	7.4	OAX
14	08 OCT 28	21:01:07.7	16.34	97.28	7.8	OAX-COSTA
15	14 ENE 31	19:50:40.2	16.10	96.64	8.0	OAX-COSTA
16	03 JUN 32	04:36:52.2	19.98	103.99	8.4	COL
17	16 JUN 32	04:12:10.0	19.50	103.50	8.0	CUL-NEVADO
18	29 NOV 34	20:05:15.6	19.00	105.31	7.2	JAL-COSTA
19	23 DIC 37	07:17:58.5	17.10	98.07	7.7	OAX
20	15 ABR 41	13:09:51.0	18.85	102.94	7.9	MICH
21	22 FEB 43	03:20:44.6	17.62	101.15	7.7	GRO-COSTA
22	14 DIC 50	06:15:49.6	17.22	98.12	7.3	OAX
23	26 JUL 57	02:40:10.2	17.11	99.10	7.7	GRO-COSTA
24	11 MAY 62	08:11:57.1	17.25	99.58	7.2	GRO-COSTA
25	19 MAY 62	08:58:12.8	17.12	99.57	7.2	GRO
26	23 ABO 65	13:46:02.9	16.30	95.80	7.8	OAX-COSTA
27	02 ABO 68	08:06:43.9	16.60	97.70	7.4	OAX-COSTA
28	30 ENE 73	15:01:18.0	18.39	103.21	7.5	MICH-COSTA
29	29 NOV 78	04:52:47.3	15.46	96.48	7.8	OAX-COSTA
30	14 MAR 79	05:07:11.2	17.31	101.36	7.6	GRO-COSTA
31	24 OCT 81	21:22:13.0	17.75	102.25	7.3	MICH-COSTA
32	07 JUN 82	00:52:33.7	16.35	98.37	6.9	GRO
33	07 JUN 82	04:59:40.1	16.40	98.54	7.0	GRO
34	19 SEP 85	07:15:50.0	18.11	102.39	8.1	MICH-COSTA
35	20 SEP 85	19:37:09.4	17.26	101.36	7.5	GRO-COSTA

* HORA DEL CENTRO DE MEXICO.

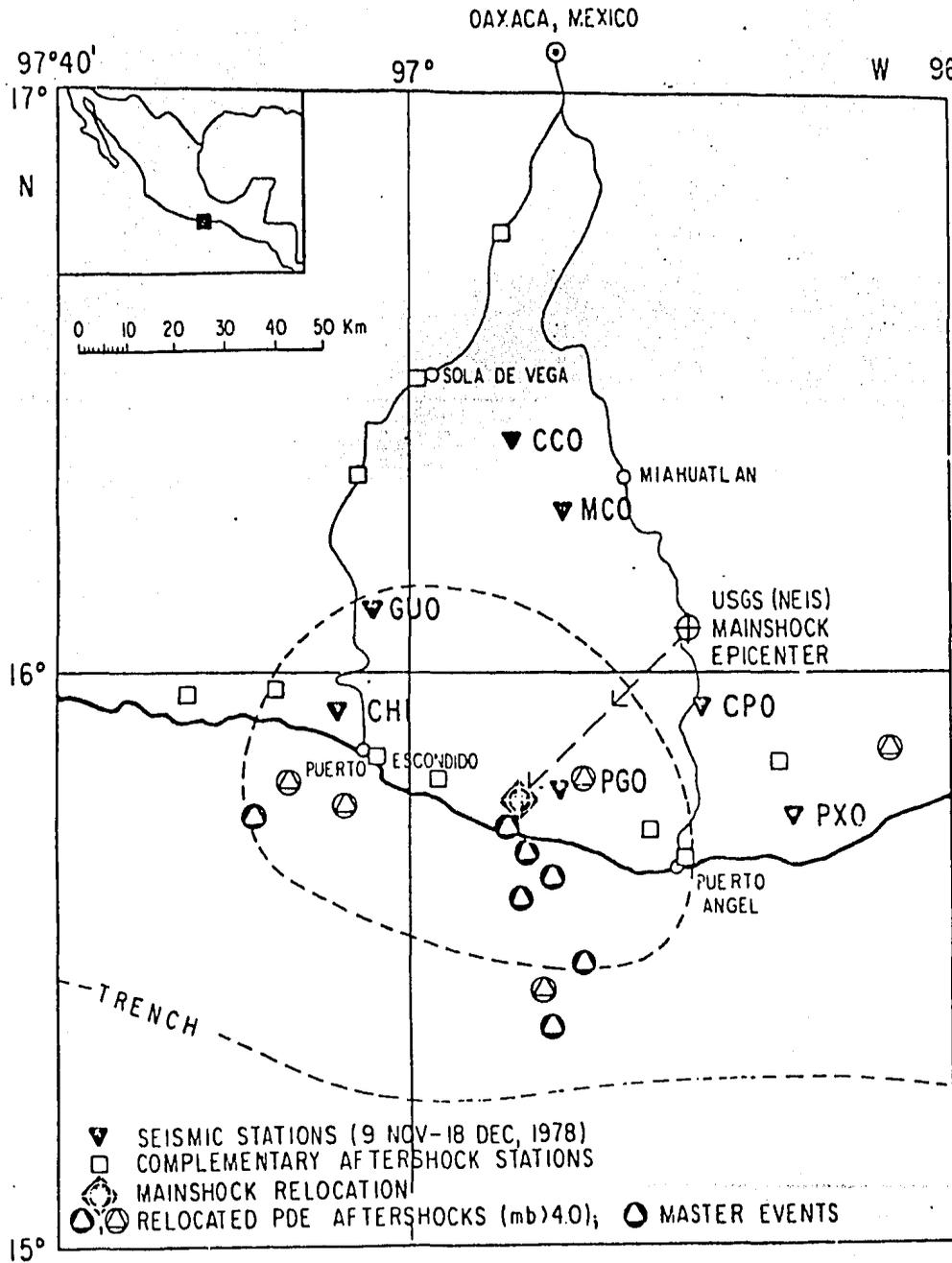


FIGURA 8

utiliza esta nueva localización. La tabla solo contiene un sismo de magnitud $M_s=6.9$ ocurrido en Ometepec, Guerrero, el 7 de junio de 1982 4 horas antes del evento del 7 de junio de 1982 también en Ometepec tomándose en cuenta los dos eventos para el estudio de mareas y sismos. En esta tabla solo se incluyen los eventos de los estados de Colima, Guerrero, Jalisco, Michoacan y Oaxaca, excluyéndose los ocurridos en otras partes de la Republica como Chiapas, y Veracruz, principalmente. La profundidad de todos los eventos contenidos en la tabla se encuentran entre los 10 y los 20 kilometros de profundidad, teniendose el mayor número de ocurrencias a los 16 Km (Singh, 1984). La zona de subducción presenta un angulo de 14 grados, aproximadamente, en la región de estudio, (fig 9).

Para el sismo del 29 de noviembre de 1978 se tomaron los datos de los premonitores registrados por una red local temporal de 6 sismografos de papel ahumado, instalados desde el 8 de noviembre de 1978, mientras que las replicas fueron registradas por la misma red local y 9 sismografos adicionales instalados después del sismo en la misma zona, todos estos estuvieron registrando hasta el 14 de diciembre de 1978. La localización del evento principal esta tomada de la publicación de Fonce et al (1978), al igual que los 48 eventos previos, mientras que las réplicas son tomadas de

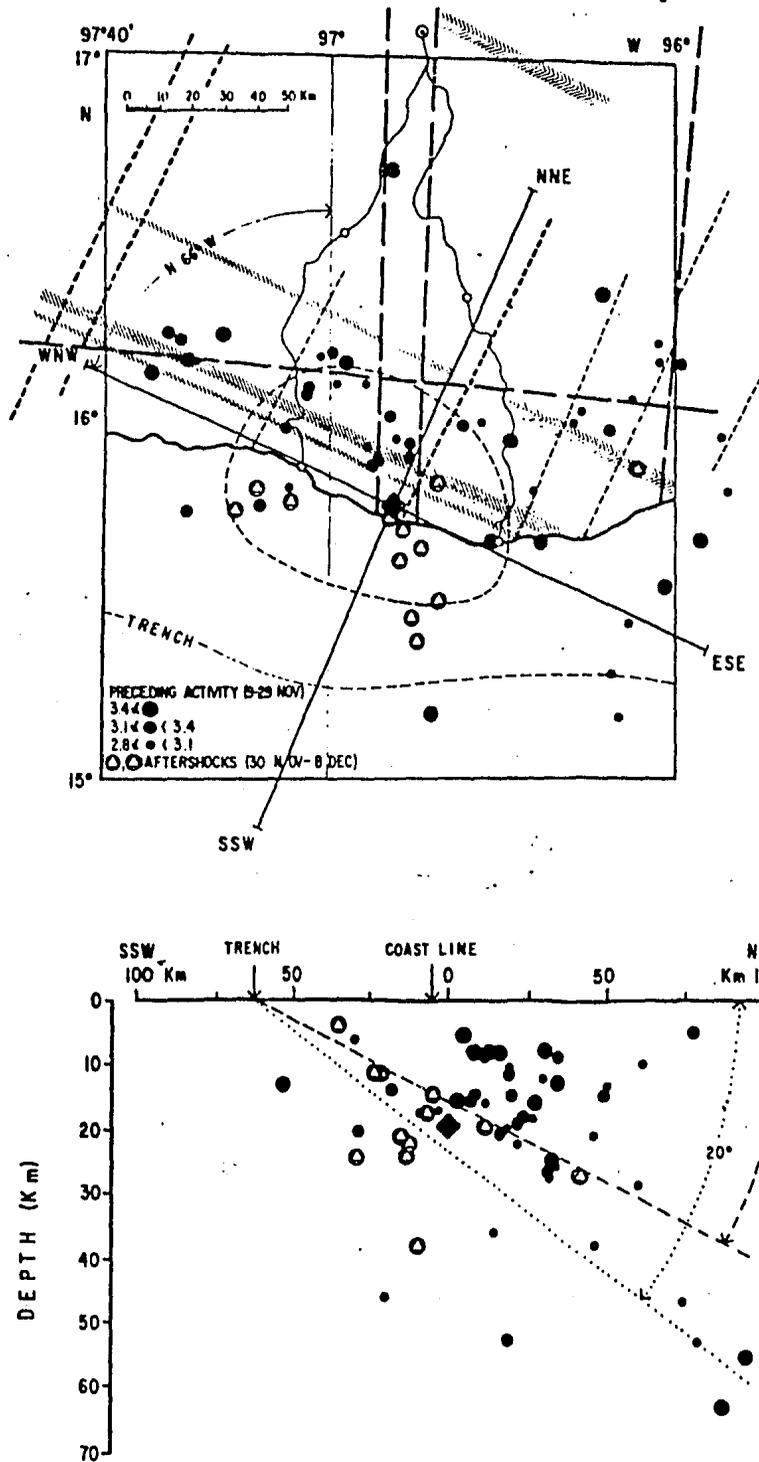


FIGURA 9

tablas publicadas por diferentes autores, para complementarse.

REGION DE INTERES Y TECTONICA.

La región de interés se extiende del sur de Oaxaca, (Tehuantepec) hasta el Estado de Jalisco, desde los 15 hasta los 21.1 grados de latitud norte y de los 95 a los 105.5 de longitud oeste (fig 10), a lo largo de la costa del Pacífico. Región por la cual se extiende la zona de subducción mexicana. Para facilitar el estudio, esta zona se ha dividido en cuatro subregiones, que son, de acuerdo con Singh et al(1984): OAXACA, GUERRERO, MICHOACAN, y JALISCO. Estas subregiones están definidas de la siguiente forma, (fig 11):

OAXACA	15.00	--	17.40	N
	95.00	--	98.40	W
GUERRERO	15.50	--	18.00	N
	98.45	--	101.50	W
MICHOACAN	17.00	--	19.00	N
	101.55	--	103.50	W
JALISCO	18.00	--	21.10	N
	103.55	--	105.50	W

Frente a la costa del Pacífico en el fondo oceánico se encuentran rasgos prominentes, tales como la cordillera de Tehuantepec, las zonas de fractura de Orozco y Rivera, y la trinchera media de América entre

REGIONES

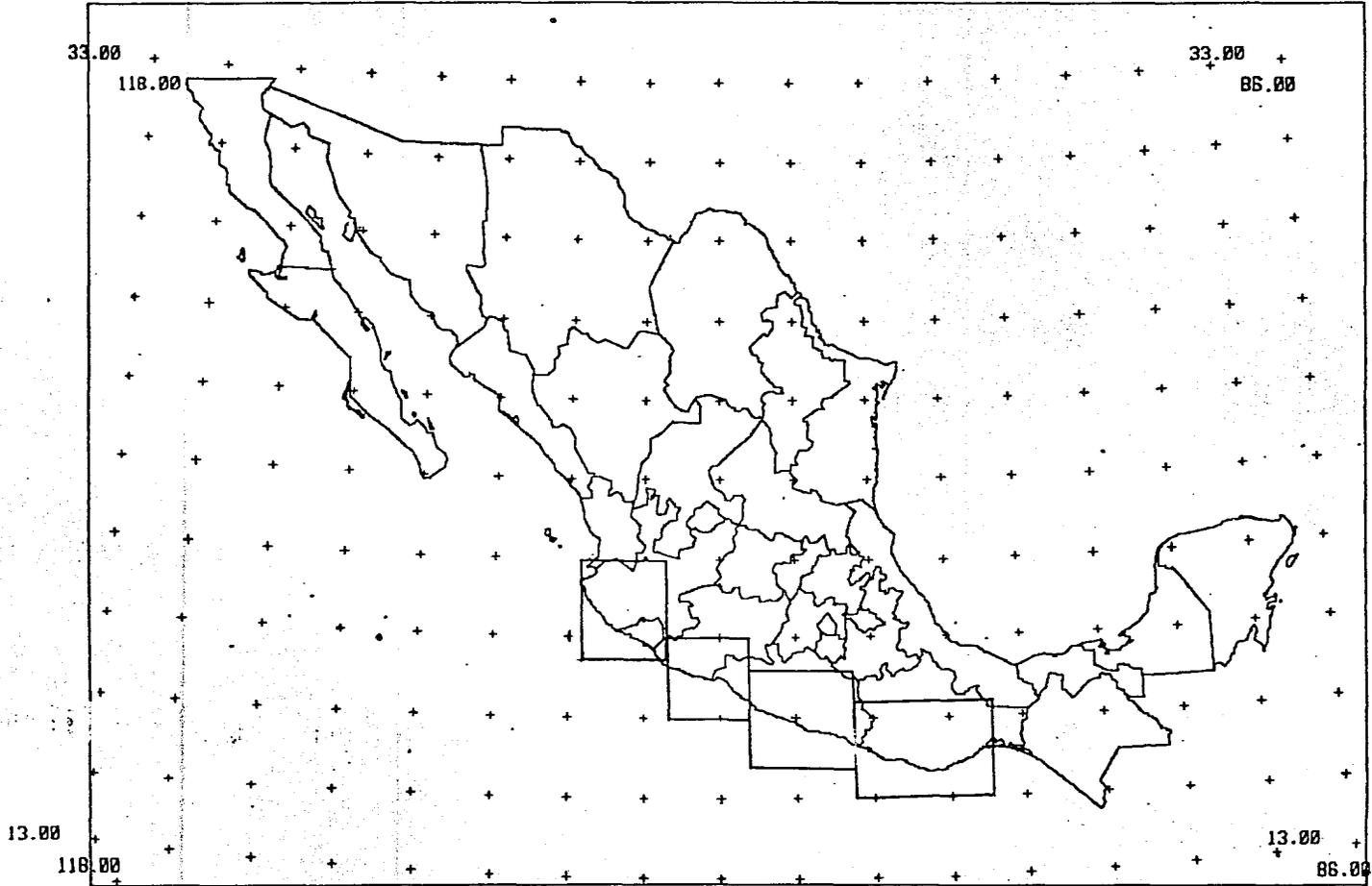
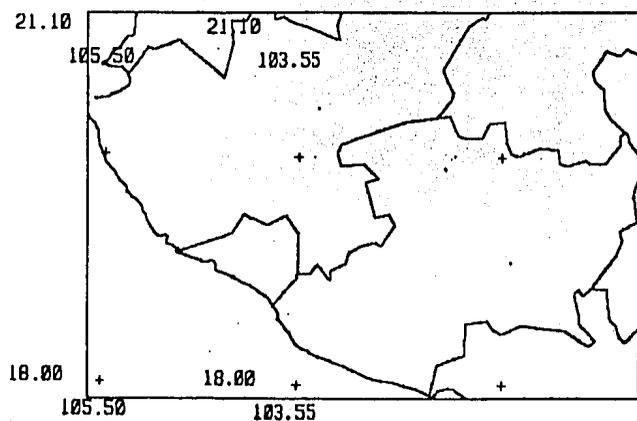


FIGURA 10

JALISCO



MICHOACAN

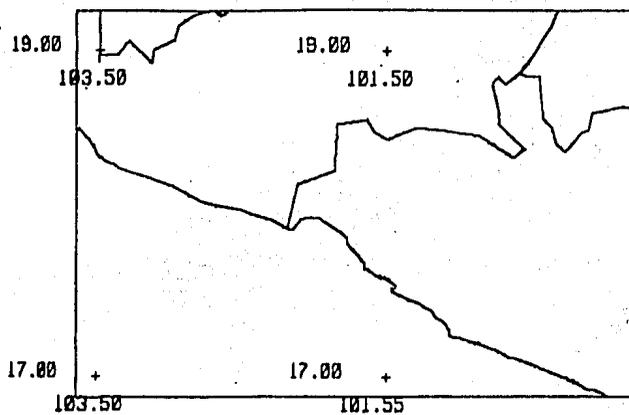
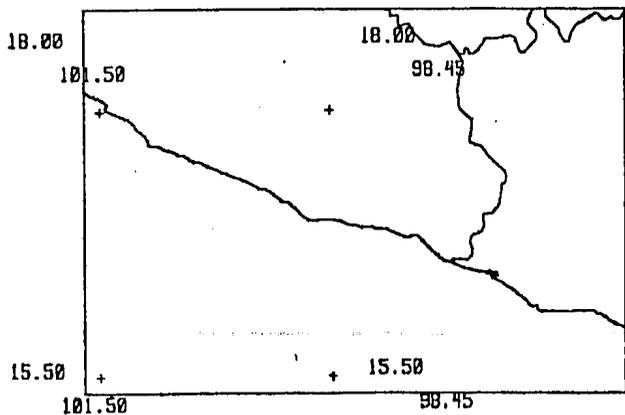
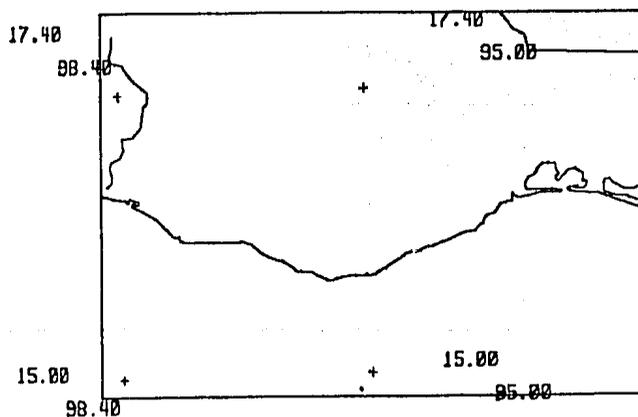


FIGURA II

GUERRERO



OAXACA



otros (fig 12). Los sismos ocasionados en las tres primeras subregiones se deben a la subducción de la Placa Cocos bajo la Placa de Norteamérica. Por otra parte los eventos del estado de Jalisco dan poca información de su origen por lo que no se sabe si estos son producidos por la interacción de las placas Cocos y Norteamericana, o de la placa Rivera y la Norteamericana, o la acción combinada de las tres placas. Por esto en Jalisco quedo propuesto el limite superior de la zona de estudio. El límite sur de la zona de estudio se localiza a la altura de Tehuantepec. De lo anterior tenemos que la región de estudio corre a lo largo de la zona de subducción mexicana desde Jalisco, hasta Oaxaca, con una longitud del orden de 1350Km.

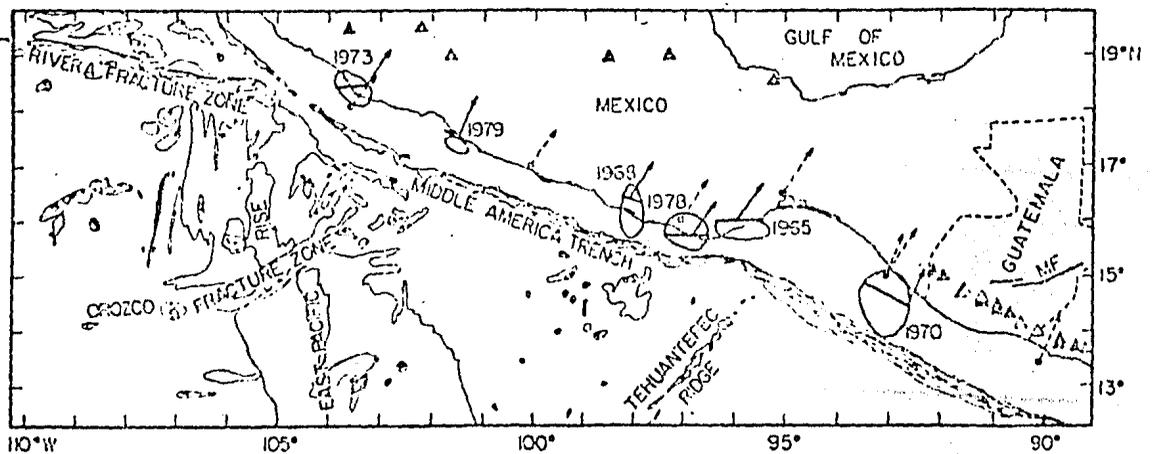


FIGURA 12

ESTUDIO CUALITATIVO DE LA RELACION SISMOS-MAREAS

En la búsqueda de alguna relación entre la ocurrencia de sismos y la variación de la marea terrestre se realizó el estudio de los sismos de la costa del Pacífico a lo largo de la zona de subducción mexicana desde los 15 hasta los 21.2 grados de latitud norte y de los 95 a los 105.5 de longitud oeste, en las regiones de OAXACA, GUERRERO, MICHOACAN, y JALISCO previamente establecidas. Este estudio se realizó en dos partes. La primera consiste en el estudio de los sismos de magnitud $M_s \geq 7$ de la costa del Pacífico contenidos en el catalogo. La segunda parte es el estudio de los premonitores y réplicas del sismo del 29 de noviembre de 1978 ocurrido en Oaxaca.

SISMOS DE LA COSTA DEL PACIFICO

Para el estudio de esta relación en la costa del Pacífico se calculó la variación de las mareas terrestres desde 12 horas antes de cada evento hasta doce horas después, utilizando el programa mareas.

Primero se agruparon los eventos de acuerdo a las regiones establecidas y se hicieron las gráficas de HORA DE OCURRENCIA-POSICION DE LA MAREA-MAGNITUD, para cada una de las regiones. El valor de la marea se tomo de una manera similar a la forma implementada por Knoppof, dividiendo la

distancia entre el máximo y el mínimo en 50 unidades, de 0 a 50 y la distancia entre mínimo y máximo también en 50 unidades de 50 a 100, teniendo en 25 y 75 el valor de la marea igual a cero. Con esto se sabe, en forma relativa, en que parte del ciclo de marea ocurre el sismo, es decir, si se encuentra en un máximo, o en un mínimo, en aumento o disminución. El valor de la magnitud superficial y la hora de ocurrencia, que es la hora local, se tomaron del catalogo de sismos. También se utilizó el artículo de Singh et al (1983) en el que propone periodos de recurrencia para los sismos ocurridos en la costa del Pacífico, como ayuda para poder establecer relaciones entre los sismos y las mareas. Con las gráficas generadas y los trabajos consultados se hace a continuación el análisis de cada una de las regiones.

OAXACA.—La figura 13 muestra la hora de ocurrencia—posición de la marea—magnitud para cada uno de los doce sismos de Oaxaca. En esta región, que se extiende de los 15 a los 17.4 grados norte y de los 95 a los 98 oeste, se encontro un periodo de recurrencia de 34 años para la vecindad del punto 16.2 norte 95.8 oeste para los sismos de 1919, 1928, 1965. Un periodo de 54 años para el punto 16 norte 96.8 oeste que contiene a los sismos de 1928, 1931, 1978. Y 38 años para 16.6 norte 97.7 oeste en los

sismos de 1928 y 1968. Analizando las gráficas, los periodos de recurrencia y los ciclos de las mareas se concluye que:

1.-LA DISTRIBUCION DE LOS SISMOS EN ESTA ZONA PRESENTA UN FUERTE AGRUPAMIENTO EN EL PERIODO COMPRENDIDO ENTRE LAS 19:00 Y LAS 22:20 HORAS. OBSERVANDOSE OTRO PERIODO DE LAS 04:50 A LAS 08:20 HORAS, ESTE CONTIENE UNA MENOR CANTIDAD DE EVENTOS.

2.-LOS EVENTOS OCURRIDOS DURANTE EL PERIODO VESPERTINO SE PRESENTAN AL ESTAR EN AUMENTO LA MAREA O EN UN MAXIMO.

3.-EN EL PERIODO MATUTINO SE PRESENTAN LOS SISMOS AL ESTAR DISMINUYENDO LA MAREA, CON EXCEPCION DEL EVENTO #27 QUE SE PRESENTO CUANDO LA MAREA ESTABA EN AUMENTO Y SU VALOR ERA IGUAL A CERO.

4.-EN CUANTO A LOS PERIODOS DE RECURRENCIA TENEMOS QUE: LOS SISMOS 11 Y 26 CON PERIODO PROPUESTO DE 34 AÑOS SE PRESENTARON AL ESTAR EN AUMENTO LA MAREA. LOS EVENTOS NUMERO 14, 15 Y 29 CON PERIODO DE RECURRENCIA DE 54 AÑOS SE PRESENTARON LOS DOS PRIMEROS MUY PROXIMOS AL MAXIMO Y EL TERCERO EN UN MINIMO DE LA MAREA. POR ULTIMO LOS SISMOS CON PERIODO DE RECURRENCIA DE 38 AÑOS QUE SON LOS EVENTOS NUMERO 13 Y 17 SE PRESENTARON AL EFECTUARSE EL AUMENTO DE LA MAREA TERRESTRE.

5.-EN LA REGION DE GUANACASTE SE PRESENTA UNA DISTRIBUCION DE LAS MAGNITUDES DE LA SIGUIENTE MANERA: EN LOS EVENTOS MATUTINOS LA MAGNITUD ESTA COMPRENDIDA ENTRE LOS 7.3 Y LOS 7.6, MIENTRAS QUE POR LA TARDE SE OBSERVA UN AUMENTO EN LA MAGNITUD QUE VA DE LOS 7.4 A LOS 8.1 GRADOS DE MAGNITUD SUPERFICIAL.

OAXACA

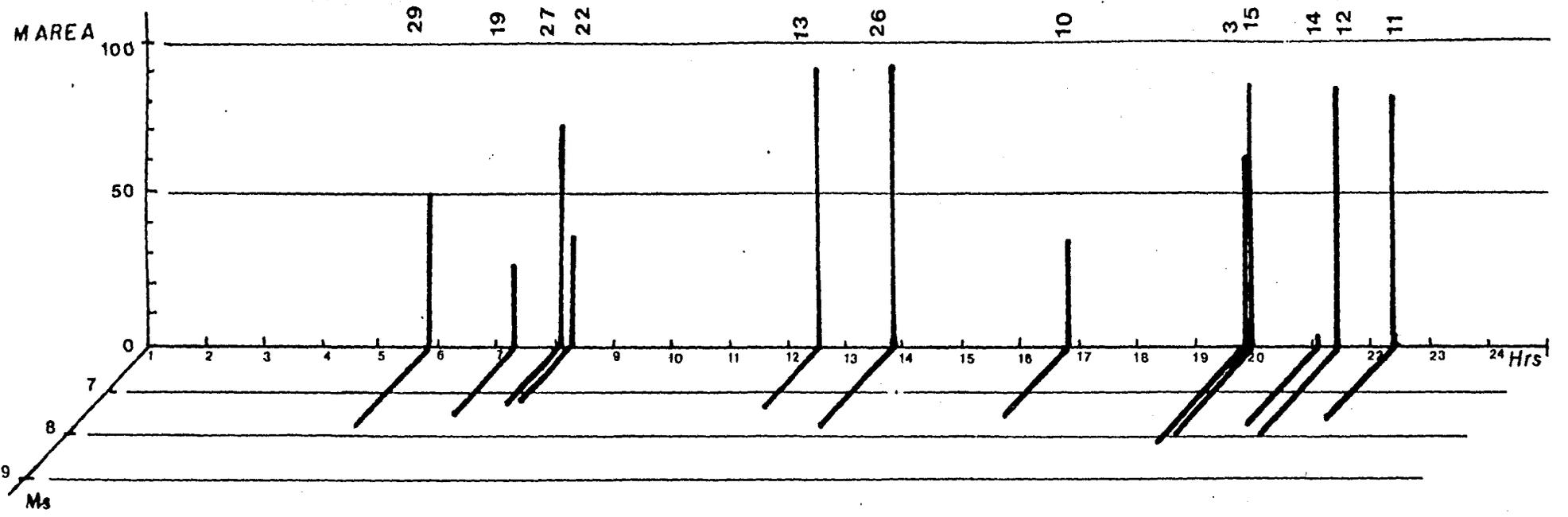


FIGURA 13

GUERRERO.-La figura 14 presenta la gráfica de OCURRENCIA-POSICION DE LA MAREA-MAGNITUD para los sismos de la región que se extiende desde los 15.5 a los 18 grados norte, y de los 98.4 a los 101.5 oeste comprendiendo el Estado de Guerrero. En la región de SanMarcos existe un periodo de recurrencia de 56 años y en Petatlan existe un periodo de 36 años. Esta porción de la zona de subducción es la que contiene el mayor número de sismos con magnitud superficial $M_S \geq 7$, de la observacion de estos se concluye que:

1.-LA DISTRIBUCION DE LOS SISMOS ES A TRAVEZ DE DOS INTERVALOS DE TIEMPO UNA DE LAS 02:40 A LAS 05:10 Y OTRO DE LAS 19:30 A LAS 01:00 HORAS, PRESENTANDO LA MISMA CANTIDAD DE EVENTOS AMBOS PERIODOS.

2.-EN EL PERIODO MATUTINO LA MAGNITUD VARIA DE 7.0 A 7.7 GRADOS MIENTRAS QUE POR LA TARDE SE PRESENTAN SISMOS DESDE LOS 7.0 HASTA LOS 8.0 GRADOS DE MAGNITUD SUPERFICIAL. LO QUE REPRESENTA UN AUMENTO EN EL VALOR DE LA MAGNITUD DE LOS SISMOS, DE LA MISMA FORMA QUE EN OAXACA.

3.-EN EL PERIODO MATUTINO SOLO SE PRESENTARON LOS SISMOS AL ESTAR EN DISMINUCION LA VARIACION DE LA MAREA.

4.-LOS EVENTOS 4 Y 23 PERTENECIENTES A LA REGION DE SanMARCOS TIENEN PROPUESTO UN PERIODO DE RECURRENCIA DE 56 AÑOS, LOS DOS EVENTOS SE PRESENTARON MUY PROXIMOS AL SEGUNDO MAXIMO DE LA VARIACION SEMIDIURNA EL PRIMERO EN EL DESCENSO Y EL SEGUNDO EN ASCENSO.

5.-LA REGION DE PETATLAN CON PERIODO DE RECURRENCIA DE 36 AÑOS CONTIENE A LOS SISMOS NUMERO 21 Y 30, LOS CUALES OCURRIERON AL ESTAR EN DISMINUCION EL VALOR DE LA MAREA EN EL PERIODO MATUTINO.

GUERRERO

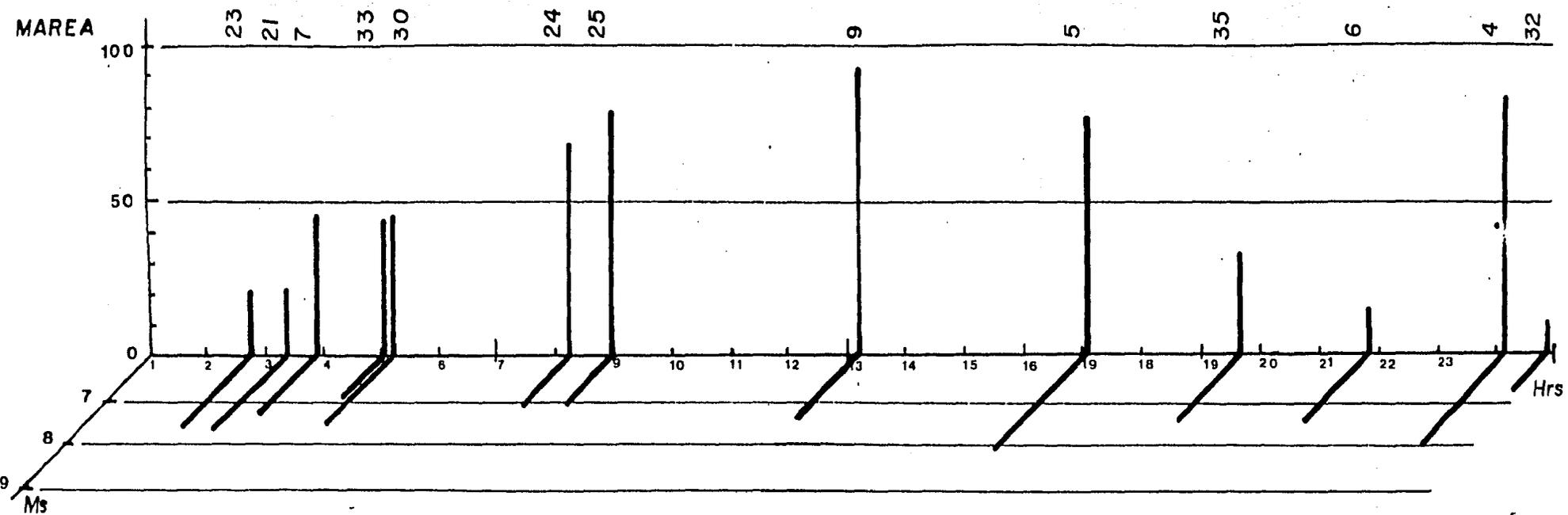


FIGURA 14

MICHOACAN.-La gráfica de la hora de OCURRENCIA- MAREA- MAGNITUD para los sismos ocurridos en Michoacan aparece en la figura 15. Como se puede apreciar, la ocurrencia de sismos de magnitud $M_S \geq 7$ en esta región es muy escasa. Los sismos de 1941 y 1973 muestran un periodo de recurrencia de 32 años. Como en esta región solo se tienen registrados cuatro eventos no se puede tener ninguna relación confiable entre mareas y sismos. La región de Michoacan se extiende de los 17 a los 19 grados de latitud norte y de los 101.55 a los 103.5 de longitud oeste.

1.-LOS EVENTOS DE 1941 Y 1973 PRESENTAN UNA HORA DE OCURRENCIA DE 13:09 Y 15:01 HORAS RESPECTIVAMENTE, FACTOR DE IMPORTANCIA DEBIDO A QUE ESTOS SISMOS TIENEN UN PERIODO DE RECURRENCIA DE 32 AÑOS, PERO EL VALOR DE LA MAREA ES DIFERENTE. EL PRIMERO OCURRE DURANTE EL AUMENTO DE LA MAREA, MUY PROXIMO AL MAXIMO, Y EL SEGUNDO SE PRESENTA DURANTE LA DISMINUCION, CON VALOR DE LA MAREA IGUAL A CERO.

MICHOACAN

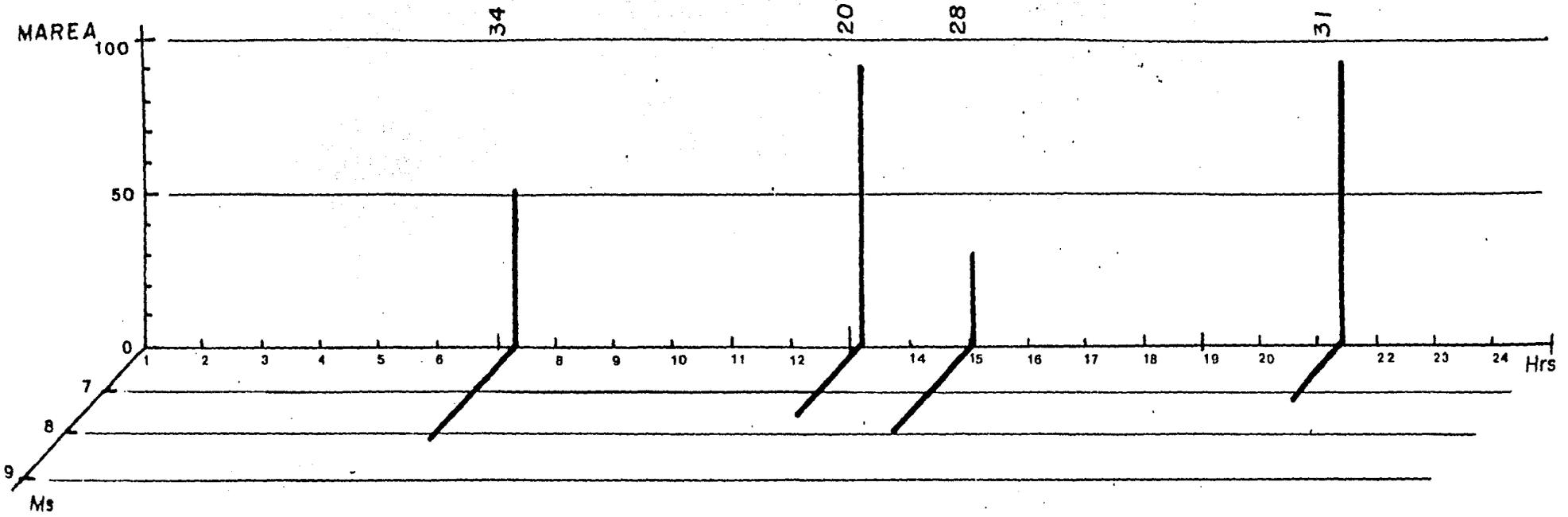


FIGURA 15

JALISCO.-Esta región se extiende de los 18 a los 21.1 grados de latitud norte y de los 103.55 a los 105.5 grados oeste. Comprendiendo los Estados de Jalisco y Colima; además de estar en el límite norte de la zona de estudio. La tectónica de la región actualmente no está entendida en su totalidad. En esta zona no se han determinado periodos de recurrencia. Lo que proporciona poca ayuda adicional al estudio. La gráfica de la OCURRENCIA-POSICION-MAGNITUD para esta región se localiza en la figura 16. Esta región cuenta con un número reducido de eventos, por lo que no se puede apreciar en forma evidente la relación buscada. de aquí se deduce que:

1.-SE PRESENTA UN AGRUPAMIENTO DE LOS EVENTOS ENTRE LAS 04:00 Y LAS 05:05 HORAS, PERIODO REDUCIDO EN COMPARACION DE LOS DE OTRAS REGIONES Y ESTA CONSTITUIDO SOLO POR LOS EVENTOS REGISTRADOS EN COLIMA DE $M_S=7$, QUE SE PRESENTARON EN LAS INMEDIACIONES DEL NEVADO DE COLIMA, LOS TRES EVENTOS SE PRESENTARON EN JUNIO, EL PRIMERO EN 1911 Y LOS DOS SIGUIENTES EN 1932.

2.-TODOS LOS SISMOS SE PRESENTARON AL ESTAR EN DISMINUCION LA MAREA, SOLO EL SISMO NUMERO UNO SE VERIFICO EN UN MAXIMO DE LA MAREA TERRESTRE.

3.-SOLO EL SISMO DEL 3 DE JUNIO DE 1932 (#16) ES MAYOR DE LOS OCHO GRADOS DE MAGNITUD SUPERFICIAL EN ESTA REGION.

JALISCO

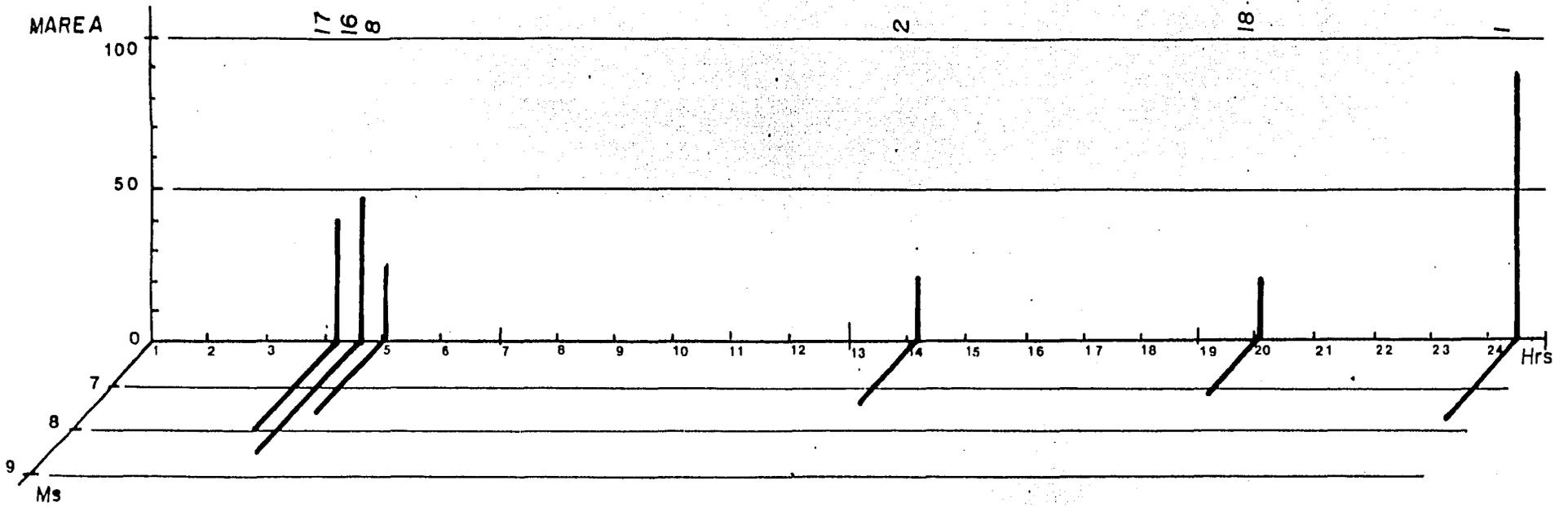


FIGURA 16

**PREMONITORES Y REPLICAS DEL SISMO DEL
29 DE NOVIEMBRE DE 1978.**

El sismo del 29 de noviembre de 1978, $M_s=7.8$, ocurrido a los 15.46 grados de latitud norte, 96.48 de longitud oeste y a las 10:52:47.3 hora local, entre Fuerte Angel y Fuerte Escondido, fue seleccionado para buscar la relación entre mareas terrestres y sismos, debido a que se tiene un registro de sus PREMONITORES y las REPLICAS. Lo que permite apreciar en forma clara si existe alguna relación entre ocurrencia de sismos y mareas terrestres.

Para el estudio se obtuvo la variación de la marea terrestre en el periodo comprendido entre el 8 de noviembre y el 14 de diciembre de 1978. se hicieron las gráficas correspondientes a la variación de la marea y la ocurrencia de sismos durante el periodo. Fijandose un intervalo de dos horas para el agrupamiento de la ocurrencia de sismos. Las gráficas están realizadas con la misma escala horizontal que corresponde a la hora local, siendo 1mm igual a 2 horas. En cuanto a la escala vertical, se tiene para las mareas una variación de 0.250 a -0.250 mGales en 5cm, esto es, 1mm igual a 0.10mGal y en cuanto a las ocurrencias tenemos que 5mm son iguales a 1 evento.

PREMONITORES

Para los premonitores se considero el periodo del 8 al 29 de noviembre, en este periodo se tienen registrados un total de 46 eventos. Con esto se realizó el estudio estadístico y la comparación gráfica de donde se determinó lo siguiente:

-14 EVENTOS OCURRIERON EN EL MAXIMO DE LA MAREA.

-09 AL VERIFICARSE EL DESCENSO (7 POSITIVOS, 1 EN CERO, 1 NEGATIVO).

-09 EN EL MINIMO.

-14 DURANTE EL ASCENSO (5 POSITIVOS, 4 EN CERO, 5 NEGATIVOS).

De aquí se ve que la distribución de la ocurrencia de premonitores se realiza de la siguiente manera: El 20% de los sismos ocurrió en el mínimo, 30% al aumentar la marea, 30% durante el máximo y 20% en el descenso. Por lo que se concluye que existe un aumento en la actividad sísmica, de los premonitores, durante el ascenso y el máximo del ciclo de la variación semidiurna de la marea. Por otra parte se ve que el 57% de los eventos ocurre en la parte positiva de la marea, 11% en cero y 32% en la parte negativa.

NOV 1978

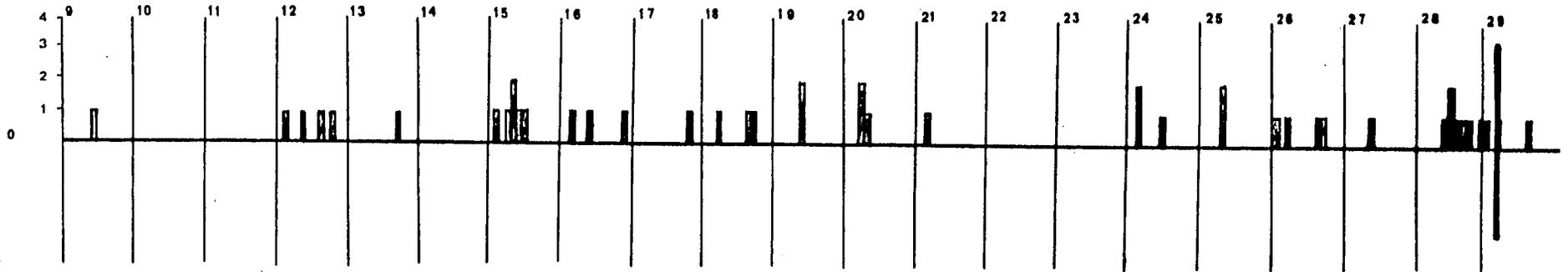
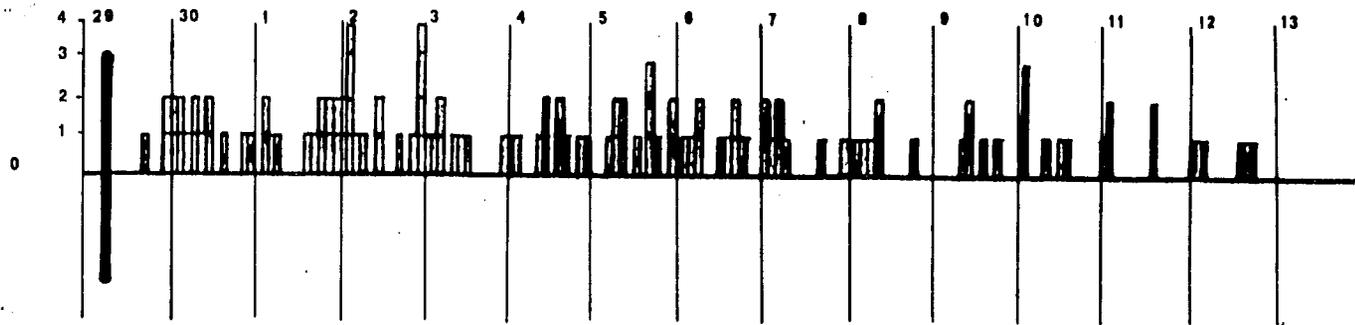


FIGURA 17

DIC



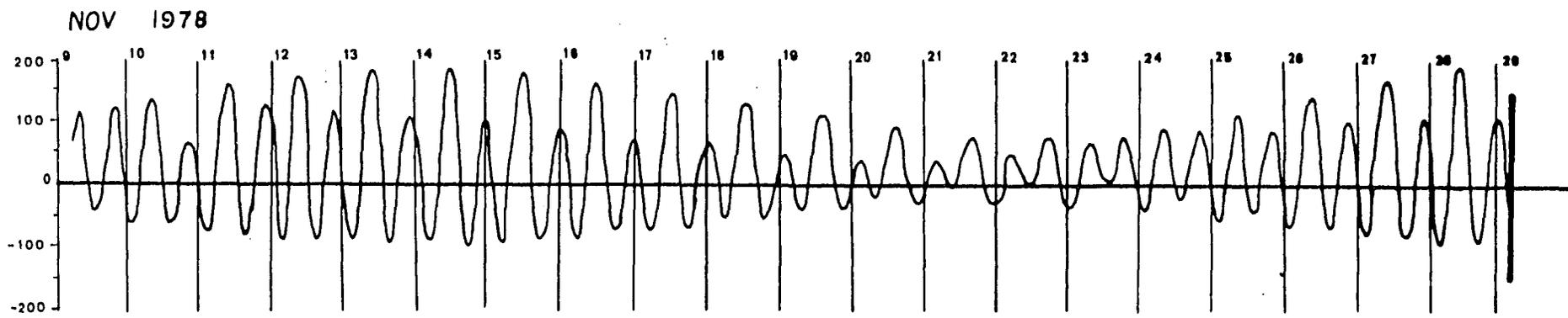
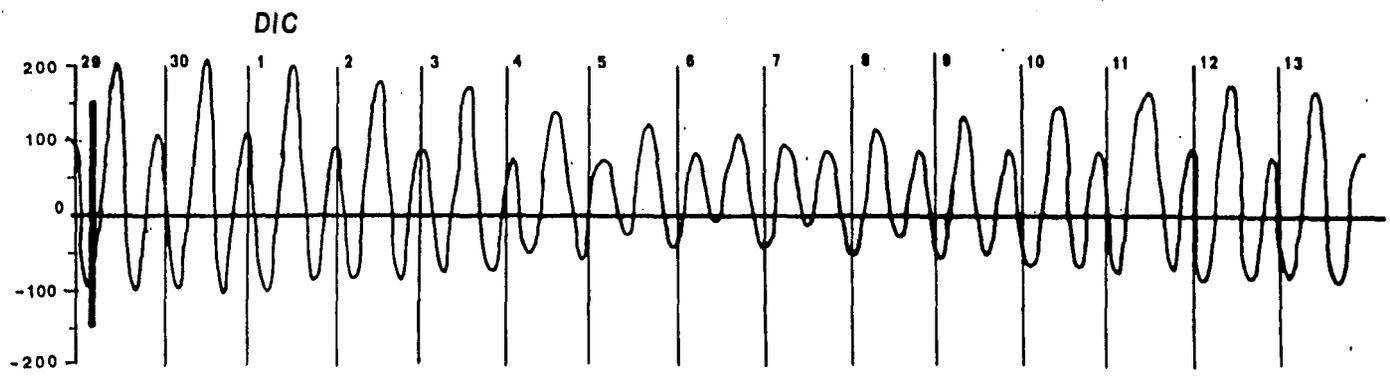


FIGURA 18



REPLICAS.

En cuanto a las réplicas, se considero el periodo comprendido entre el 29 de noviembre y el 12 de diciembre de 1978, se analizó un total de 113 eventos. Del análisis estadístico y gráfico de la variación de la marea y las réplicas se concluye que:

-24 EVENTOS OCURREN EN EL MAXIMO.

-35 EN EL DESCENSO (21 POSITIVOS, 10 EN CERO y 4 NEGATIVOS).

-25 EN EL MINIMO.

-29 EN EL ASCENSO (20 POSITIVOS, 3 EN CERO y 6 NEGATIVOS).

En este caso la distribución de los sismos dentro del ciclo de marea es muy uniforme, teniendo la ocurrencia de eventos de la siguiente forma: 21% en el máximo, 31% durante el descenso, 22% en el mínimo, y 26% en el ascenso. Haciendo el análisis con otro enfoque en la distribución, se observa que el 58% de los eventos ocurrieron en la parte positiva del ciclo, 12% cuando el valor de la marea es cero y 30% con la marea en la parte negativa del ciclo.

DISCUSION

Los sismos de la costa del Pacífico de magnitud superficial $M_S \geq 7$, ocurridos entre 1900 y 1985 mostrarón en el estudio cualitativo de la relación sismos mareas que la distribución, a lo largo de toda la zona de estudio, de los eventos se efectua a través de dos periodos, el primero de las 01:20 a las 07:30 conteniendo 15 eventos, y el segundo de las las 18:00 a las 24:00 horas con 13 sismos.

EN LA REGION DE OAXACA, se presentán los sismos agrupados en dos periodos, el primero de las 04:50 a las 08:20, en el cual solo ocurrierón los eventos al ser negativo el valor de la marea terrestre: 3 en descenso y uno en aumento. El segundo periodo se extiende de las 19:00 a las 22:20 horas, durante este solo se presentarón los eventos al estar en ascenso la marea y solo uno durante el máximo de la variación. Además se nota un aumento de la magnitud superficial de los sismos durante el periodo vespertino.

GUERRERO, para esta porción de la costa del Pacifico también se proponen dos periodos de tiempo, uno al comienzo del día, de las 02:40 a las 05:10 en el cual todos los sismos ocurrierón durante el descenso de la marea, el segundo periodo se tiene entre las 19:30 y las 01:00 horas teniendo tres eventos durante descenso y dos en el ascenso.

MICHOACAN con solo cuatro eventos de magnitud superficial $M_S \geq 7$ en la región, no se pueden proponer periodos de tiempo que agrupen a los sismos.

JALISCO esta región que incluye a los estados de Jalisco y Colima consta de un número reducido de eventos, presentando un agrupamiento de tres eventos entre las 04:10 y las 05:10 horas, presentandose estos eventos durante el descenso de la marea, al igual que los sismos restantes, con solo una excepción que se presento durante el ascenso de la marea.

Resumiendo los resultados obtenidos para cada una de las subregiones propuestas, y haciendo un análisis en forma general de todos los sismos contenidos en el catalogo, se puede decir, que el 80% de los sismos ocurridos en la mañana a lo largo de la costa del Pacífico se presentán al estar disminuyendo la marea, solo 3 se presentaron durante el ascenso. Los sismos 24 y 25 se presentaron entre las 08:00 y las 09:00 horas del periodo matutino en la región de Guerrero durante el aumento de la marea, de la misma forma que el evento 27 y 22 ocurrido en Oaxaca en una zona muy próxima y en ese intervalo.

el periodo nocturno, que va de las 18:00 a las 24:00 horas, solo se presentaron dos eventos en la parte negativa de la curva de marea, los cuales son los eventos numero 3 y 35, el primero, en ascenso y el segundo en descenso. El 69% de los sismos ocurrio al estar en ascenso la marea y el 31% en el descenso, todos en la parte positiva de la curva de mareas.

CONCLUSIONES

De lo ya escrito se puede concluir que las subregiones de Oaxaca y Guerrero se comportan de una forma muy similar, ya que las dos presentan agrupaciones de eventos en la primera mitad de la mañana y durante las ultimas horas del día. Los pocos sismos de ambas regiones que no quedaron comprendidos en ninguno de los dos periodos se localizan en una zona muy próxima.

Los sismos de la costa del Pacífico que ocurren durante la mañana, generalmente se presentan durante el descenso de la marea. Si el evento se presenta en la noche, se espera que ocurra durante el ascenso de la marea, en la parte positiva del ciclo. El descenso y el ascenso de la marea se refiere a la curva de marea de la variación semidiurna.

En cuanto a la relación de los sismos con los premonitores y réplicas se tiene que el 57% y el 55% de los eventos de las dos series, respectivamente, ocurrieron durante la parte positiva del ciclo. En los premonitores el aumento de la actividad sísmica se presenta durante el ascenso y el máximo, mientras que en las réplicas se produce el aumento de la actividad sísmica entre el máximo y el descenso de la marea.

El evento principal no concuerda con lo anterior, debido a que ocurrió inmediatamente después de un mínimo de la marea terrestre.

En forma general, este estudio no aclara la posible relación existente entre sismos y mareas terrestres, pero si se puede decir que el 80% de los sismos analizados de la costa del Pacífico ocurridos en la mañana se presentaron durante el descenso de la marea, mientras que el 70% de los sismos nocturnos ocurrió durante el ascenso de la marea. Por otra parte las gráficas de ocurrencia de premonitores y réplicas y la marea obtenidas para el sismo de 1978 muestran un aumento en la ocurrencia de eventos en los periodos positivos de la marea terrestre. Se han determinado de los datos de las cuatro regiones las siguientes conclusiones:

- 1.- LAS REGIONES DE OAXACA Y GUERRERO PRESENTAN DOS PERIODOS DE OCURRENCIA PARA LOS EVENTOS DE MAGNITUD $M_S \geq 7$, UNO EN LA MAÑANA Y OTRO POR LA NOCHE.
- 2.- EL PERIODO MATUTINO EN LAS DOS REGIONES ESTA PROBABLEMENTE RELACIONADO CON UNA DISMINUCION DE LA INTENSIDAD DE LA MAREA.
- 3.- EN EL INTERVALO VESPERTINO LOS SISMOS ANALISADOS TIENDEN A PRESENTARSE AL EXISTIR AUMENTO EN LA MAREA.
- 4.- LOS SISMOS ESTUDIADOS EN LAS REGIONES DE OAXACA Y GUERRERO SE COMPORTAN DE LA MISMA MANERA PARA LOS OBJETIVOS DE ESTE ESTUDIO
- 5.- DEL ANALISIS DE LOS DATOS DEL TEMBLOR DE OAXACA DEL 29 DE NOVIEMBRE DE 1978 SE OBSERVO QUE LOS PREMONITORES Y LAS REPLICAS PRESENTAN UN AUMENTO EN OCURRENCIA EN LA PARTE POSITIVA DEL PERIODO DE LA VARIACION SEMIDIURNA DE LA MAREA TERRESTRE.
- 6.- PARA ESTE TEMBLOR DE OAXACA, EL 65% DE LOS PREMONITORES Y EL 60% DE LAS REPLICAS OCURRIERON DURANTE LA MAÑANA AL IGUAL QUE EL EVENTO PRINCIPAL.

RECOMENDACIONES

1.-BUSCAR LA RELACION ENTRE MAREAS Y SISMOS DE ACUERDO A LA POSICION RELATIVA ENTRE EL SOL, LA TIERRA Y LA LUNA. TAMRAZYAN (1968) Y ALLEN (1968) ENCONTRARON UN AUMENTO EN LA OCURRENCIA DE EVENTOS CUANDO EL SOL LA TIERRA Y LA LUNA SE ENCUENTRAN ALINEADOS.

2.-HASTA AHORA NO SE HAN INTENTADO BUSCAR LA RELACION SISMOS-MAREAS CON LA COMPONENTE HORIZONTAL DE LA INTENSIDAD DE LAS MAREAS TERRESTRES, LA CUAL ES LA GGENERADORA DE LOS MOVIMIENTOS DE MASAS, MIENTRAS QUE LA COMPONENTE VERTICAL SOLO HACE VARIAR EL PESO DE LAS MASAS.

3.-ESTUDIAR LA RELACION ENTRE SISMOS Y MAREAS, CON PERIODOS MAS LARGOS DE LAS MAREAS TERRESTRES, LOS CUALES PUEDEN CAUSAR UN EFECTO MAYOR EN LA TIERRA DEBIDO A SU VARIACION LENTA. TALES COMO LA VARIACION QUINCENAL O MENSUAL, ETC.

4.-ESTUDIAR LOS "HUECOS SISMICOS" PROPUESTOS PARA LA COSTA DE GUERRERO EN FORMA CONJUNTA CON LOS PERIODOS DE RECURRENCIA Y LAS MAREAS TERRESTRES, PARA LA POSIBLE PREDICCION DE SISMOS.

5.-ESTUDIAR LOS EFECTOS QUE PRODUCEN LAS MAREAS OCEANICAS SOBRE LAS MAREAS TERRESTRES EN LAS COSTAS Y DETERMINAR EL RANGO DE ACCION DE ESTOS EFECTOS CONFORME A LA CERCANIA DEL LITORAL.

BIBLIOGRAFIA:

- *ADLER J.L. 1941
 "SIMPLIFICATION OF THE TIDAL CORRECTIONS FOR GRAVITY METER SURVEYS"
 GEOPHYSICS VOL 7 #1 pp35-44
- *ALLEN M.W. 1936
 "THE LUNAR TRIGGERING EFFECT ON EARTHQUAKES IN SOUTHERN CALIFORNIA"
 BULL SEISM SOC AM Vol26 pp147-157
- *CASTRO B HONORATO DE
 "INFLUJO DE LA LUNA Y EL SOL SOBRE LA PESANTEZ"
 BOL ASOC MEX GEOF EXP Vol12 #2
- *CHAEEL STEWART 1982
 RECENT LARGE EARTHQUAKE ALONG THE MIDDLE AMERICAN TRENCH AND THEIR IMPLICATIONS FOR THE SUBDUCTION PROCES.
 J GEOPHYS RES Vol1-83 #B1 pp329-338 JAN 10 1982
- *DOBRIN 1976
 INTRODUCTION TO GEOPHYSICAL PROSPECTING
 Mc GRAW-HILL
- *FIGUEROA J. 1970
 CATALOGO DE SISMOS OCURRIDOS EN LA REPUBLICA MEXICANA
 REPORTE #272 I de I U.N.A.M.
- *FARREL W.E. 1979
 EARTH TIDES
 REV GEOPHYS SPACE PHYS Vol17 #6 pp1442-1446
- *GARLAND G.F. 1965
 THE EARTH SHAPE AND GRAVITY
- *GEOFISICA INTERNACIONAL Vol1-17 #3
- *GODIN, DE LA PAZ, RODRIGUEZ, ORTIZ. 1980
 "LA MAREA Y EL NIVEL DEL MAR A LO LARGO DE LA COSTA OCCIDENTAL DE MEXICO"
 GEOFISICA INTERNACIONAL Vol19 #3 pp239-258

- *GOGUEL J. 1954
 "A UNIVERSAL TABLE FOR THE PREDICTION OF THE LUNAR
 SOLAR CORRECTION IN GRAVIMETRY (TIDAL GRAVITY
 CORRECTION)."
 GEOPH PROSP Vol-2
 GEOPH PROSP Vol-12 SUP #1

- *GOAD C.C. 1983
 EARTH TIDES
 REV GEOPHYS SPACE PHYS Vol21 #3 pp544-546

- *HAMILTON 1972
 TIDAL TRIGGERING OF MOONQUAKES
 SCIENCE 176

- *HEILAND C.A. 1940
 GEOPHYSICAL EXPLORATION
 PRENTICE HALL

- *JEFFREYS 1962
 THE EARTH

- *KNOPOFF L. 1964
 "EARTH TIDES AS A TRIGGERING MECHANISM FOR
 EARTHQUAKES
 BULL SEISM SOC AM Vol54 pp1865-

- *LAMBERT W.D. 1942
 "NOTES ON THE EARTH TIDES"
 GEOPHYSICS Vol-8 #1 pp51-56

- *LONGMAN I.M. 1959
 "FORMULAS FOR COMPUTING THE TIDAL ACCELERATIONS DUE
 TO THE MOON AND SOON"
 J GEOPHYS RES Vol-64 #12 pp2351-2355

- *MACMILLAN C.D.H. 1971
 TIDES
 ELSEVIER

- *MAUK, JHONSTON 1973
 ON THE TRIGGERING OF VOLCANIC ERUPTIONS BY EARTH
 TIDES

*MELCHIOR P. 1966
 THE EARTH TIDES
 PERGAMON PRESS

*OHTAKE M., MATUMOTO T., LATHAM E.V.
 TEMPORAL CHANGES IN SEISMICITY PRECEDING SOME SHALLOW
 EARTHQUAKES IN MEXICO AND CENTRAL AMERICA.

*PETTIT 1954
 "TABLES FOR THE COMPUTATION OF THE TIDAL
 ACCELERATION OF THE SUN AND MOON"
 TRANS AM GEOPHYS UNION Vol-35 P193

*PONCE L., McNALLY K., SUMIN V., GLEZ U., DeICASTILLO A.,
 L.GLEZ, CHAEL, FRENCH 1977-78
 OAXACA MEXICO EARTHQUAKE OF 29 NOV 1978: A
 PRELIMINARY ON SPATIO-TEMPORAL PATTERN OF PRECEDING
 SEISMIC ACTIVITY AND MAIN SHOCK RELOCATION
 GEOFISICA INTERNACIONAL V17 #2

*ROBERTSON E.C. 1971
 THE NATURE OF THE SOILD EARTH

*RUDMAN A.J, ZIEGLER R, BLAKELY R.F.
 "FORTRAN PROGRAM FOR GENERATION OF THE EARTH TIDE
 GRAVITY VALUES"

*RYALL A, VanWORNER J.D, JONES A.E. 1968
 TRIGGERING OF MICROEARTHQUAKES BY EARTH TIDES AND
 OTHER FEATURES OF THE TRUKEE CALIFORNIA, EARTHQUAKE
 SEQUENCE OF SEPTEMBER, 1966."
 BULL SEISM SOC AM Vol58 #1 pp215-248

*SINGH, S.K., GUZMAN, CASTRO, NOVELO
 A CATALOG OF MAYOR NINETEENTH CENTURY EARTHQUAKES OF
 MEXICO
 I. DE GEOFISICA U.N.A.M.

*SINGH, S.K., RODRIGUEZ M, ESPINDOLA J.M.
 A CATALOG OF SHALLOW EARTHQUAKES OF MEXICO FROM 1900
 TO 1981
 I. GEOFISICA U.N.A.M. SERIE AMARILLA

*SINGH, S.K., ASTIZ, HAVSKOV J. JUN 1981
 "SEISMIC GAPS AND RECURRENCE PERIODS OF LARGE
 EARTHQUAKES ALONG THE MEXICAN SUBDUCTION ZONE: A
 REEXAMINATION"

- *SINGH, S.K., RODRIGUEZ M, ESTEVA L. 1983
 STATICS OF SMALL EARTHQUAKES AND FREQUENCY OF
 OCURRENCE OF LARGE EARTHQUAKES ALONG THE MEXICAN
 SUBDUCTION ZONE
 BULL SEISM SOC AM Vol-73 #6 pp1779-1796

- *SINGH S.K., DOMINGUEZ T, CASTRO R, RODRIGUEZ M. 1984
 "P WAVEW FORM OF LARGE SHALLOW EARTHQUAKES ALONG THE
 MEXICAN SUBDUCTION ZONE"
 BULL SEISM SOC AM Vol-74 #6 pp2135-2156
 BULL SEISM SOC AM Vol171 #3 pp827-843

- *SHLIEN 1972
 "EARTHQUAKE-TIDE CORRELATION"
 GEOPH JOU ROY AST SOC Vol128 pp 27-34

- *SIMPSON 1967
 EARTH TIDES AS A TRIGGERING MECHANISM FOR
 EARTHQUAKES
 EARTH PLANET SCI LETT Vol-2 pp473-478

- *SLICHTER 1967
 "EARTH TIDES"
 TRANS AM GEOPH UNION Vol-48 pp355-357

- *STACEY F.D. 1977
 PHISICS OF THE EARTH
 JOHN WILEY & SONS, INC.

- *TAMRAZYAN G.P. 1968
 "PRINCIPAL REGULATORIES IN THE DISTRIBUTION OF MAJOR
 EARTHQUAKES RELATIVES TO SOLAR AND LUNAR TIDES AND
 OTHER COSMIC FORCES"
 ICARUS Vol-9 pp574-

- *VANNES, PENNINGTON, FROHLICH, MATUMOTO
 SEISMICITY AND TECTONICS OF THE SUBDUCTED COCOS
 PLATE
 INST FOR GEOPHYS AUSTIN, TEXAS.

AGRADECIMIENTOS.

AGRADESCO A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO Y A LA FACULTAD DE INGENIERIA LOS CONOCIMIENTOS QUE ME HAN TRANSMITIDO POR MEDIO DE MIS PROFESORES EN LOS ULTIMOS AÑOS.

DE MANERA ESPECIAL AGRADESCO LA AYUDA Y DIRECCION QUE RECIBI DEL DR. JAINE URRUTIA FUCUGAUCHI PARA LA REALIZACION DE ESTA TESIS.

HAGO UN RECONOCIMIENTO A LAS FACILIDADES DE COMPUTO DE LAS QUE DISFRUTE EN EL LAB. DE PALEOMAGNETISMO Y EN LA JEFATURA DEL DEPARTAMENTO DE GEOFISICA.

FINALMENTE MI GRATITUD AL GRUPO SISMOLOGICO DEL INSTITUTO DE INGENIERIA POR EL APOYO RECIBIDO.

R.T.COYOLI.