

CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS

3435

INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

DEPARTAMENTO DE OCEANOLOGIA

PROPAGACION DE LA CONSTITUYENTE M<sub>2</sub> DE LA MAREA EN LA BAHIA  
DE LA PAZ, B.C.S., MEXICO, MEDIANTE UN MODELO BIDIMENSIONAL  
HIDRODINAMICO NUMERICO

TESIS

para optar al grado de MAESTRO EN CIENCIAS que presenta:

MACLOVIO OBESO NIEBLAS

LaPaz, B. C. S. México, Noviembre de 1986

## RESUMEN

CENTRO DE INVESTIGACIONES Y ESTUDIOS DE  
CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
BIBLIOTECA  
I.P.N.  
DONATIVO

En este **trabajo** se simuló la propagación de la constituyente semidiurna de la marea la **M2**, en la **Bahía de La Paz**, mediante un modelo **hidrodinámico numérico barotrópico** verticalmente integrado, desarrollado en diferencias finitas centradas en el espacio y adelantadas en el tiempo.

El **modelo** tiene como base las ecuaciones de movimiento y la ecuación de continuidad. Se **utilizó** para su **ejecución** la batimetría, el coeficiente de **fricción** en el fondo, el coeficiente horizontal de viscosidad, el **parámetro** de coriolis y las amplitudes y fases como condiciones de **frontera**.

Se **logró** estacionaridad y estabilidad con un paso de tiempo de 21.833 **seg**, un coeficiente de fricción en el fondo de 0.003 y un coeficiente horizontal de viscosidad de 386.818 **m<sup>2</sup>/seg**.

La calibración del modelo se realizó apoyándose en mediciones de campo de variaciones del nivel del agua y velocidades de corrientes. **obteniéndose** resultados que en general, concuerdan con la realidad observada en la región de estudio.

El Modelo **trabaja** en tiempo real y entrega como **resultados para un período de la componente semidiurna M2: la variación superficial del nivel del mar**, la distribución vectorial de corrientes, la distribución vectorial de **transporte**, la distribución de **elevaciones máximas**, la distribución vectorial de transporte residual y los retrasos de la pleamar con respecto a la frontera abierta.

## CONTENIDO

1	INTRODUCCION.....	1
2	OBJETIVOS.....	3
3	AREA DE ESTUDIO.....	4
3.1	DESCRIPCION.....	4
3.2	ANTECEDENTES.....	8
4	MODELO.....	9
4.1	HISTORIA.....	9
4.2	DESCRIPCION.....	10
4.2.1	DETERMINACION DEL AREA DE ESTUDIO.....	10
4.2.2	PLANTEAMIENTO MATEMATICO.....	11
4.2.3	DISCRETIZACION DEL MODELO.....	11
4.2.4	DESARROLLO DEL PROGRAMA PARA LOS CALCULOS.....	12
4.2.5	CALIBRACION DEL MODELO.....	12
4.3	RESOLUCION DE ECUACIONES.....	13
4.3.1	DIFERENCIAS FINITAS.....	13
4.3.2	SISTEMAS DE ECUACIONES.....	17
4.4	PARAMETROS Y VARIABLES NECESARIAS.....	19
5	TRABAJO DE CAMPO.....	26
6	RESULTADOS.....	39
7	DISCUSION.....	100
8	CONCLUSIONES.....	101
9	SUGERENCIAS.....	109
10	BIBLIOGRAFIA.....	109
11	ANEXO 1. --LISTA DE FIGURAS.....	114
12	ANEXO 2. -MALLAS BATIMETRICAS.....	119

PROPAGACION DE LA CONSTITUYENTE M2 DE LA MAREA EN LA BAHIA  
DE LA PAZ, B. C. S., MEXICO, MEDIANTE UN MODELO BIDIMENSIONAL  
HIDRODINAMICO NUMERICO

1 INTRODUCCION.

El presente **trabajo** de investigación fue efectuado en el Departamento de Oceanología del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas de La Paz, B. C. S., México. El estudio **se** planteo por el interés de conocer cualitativa y cuantitativamente las propiedades hidrodinámicas que afectan al cuerpo de agua en la Bahía de La Paz, B. C. S.

Las zonas de mayor utilidad para el hombre, en el medio marino, **se** encuentran en las Bahías, Lagunas y Estuarios. Las **características** hidrodinámicas y biológicas de estos sistemas presentan muchas **ventajas** para el establecimiento de puertos y para el desarrollo de actividades de **producción** alimenticia. Estas áreas son importantes para la reproducción, desove, crecimiento y alimentación de algunas **de** las especies marinas de importancia comercial; también son **áreas** de comunicación entre el océano y cuerpos de agua terrestres, lo cual es importante para completar algunos ciclos de reproducción y desarrollo. Para la **solución** de problemas técnicos, **biológicos**, químicos y pesqueros en estos sistemas, es necesario el conocimiento de su hidrodinámica.

Uno de los fenómenos, periódicos más notorios de las costas **es** la variación del nivel del mar; los cuales siempre van acompañados de corrientes de carácter periódico, esto **es** el resultado de las fuerzas llamadas generadoras de las **mareas**, las cuales son producidas por la atracción gravitatoria de la Tierra y la Luna principalmente, aunque la respuesta del sistema se encuentra siempre retrasada.

Las mareas tienen varios efectos directos o indirectos sobre los fenómenos **biológicos** en el mar. El movimiento del agua asociado con ellos, conocido como las corrientes de **marea**, puede **incrementar** o inhibir el efecto de transporte de otras corrientes, fenómeno que es particularmente patente en las áreas costeras.

La turbulencia producida por las corrientes de marea y **sus**

cambios en **dirección** tienen efectos indirectos sobre los organismos que son biológicamente importantes, por que ellos obstaculizan el descenso de partículas pequeñas y de esta **manera**, causan un aumento en la turbidez y evitan la formación de la estratificación térmica en el agua.

El ascenso y descenso del agua superficial es naturalmente de mucha importancia en las áreas costeras, las cuales según su **morfología**, resultan estar alternadamente secas o cubiertas por el agua. Las fluctuaciones en la temperatura, **irradiación**, salinidad y grado de evaporación, **están** asociadas con estos cambios en las áreas de **almacenamiento**, originando condiciones ecológicas extremadamente diversas. Aquí se puede encontrar una fauna pobre en especies pero frecuentemente rica en individuos, los cuales tienen adaptaciones especiales en su comportamiento. Existen distintas **zonas**, **según el período de inundación** y no se pueden realizar generalizaciones porque la configuración de la costa y el tipo de fondo tienen efectos sustanciales en las distribuciones de las poblaciones y sumado **a esto**, los rangos de marea son extremadamente variables (**Hermann, 1969**).

La hidrodinámica de cuerpos de agua semicerrados es posible estudiarla mediante modelos físicos y modelos numéricos, los cuales simulan o pronostican con aceptable **aproximación** la situación real de la cuenca.

Los modelos físicos son la reducción del área de estudio a escala, por **ejemplo**, una maqueta en la cual se reproduce el fenómeno en miniatura con los rasgos generales que tiene en la realidad, esto **según** Jiménez Illescas (1983).

Los modelos numéricos son la representación aproximada a la realidad por medio de ecuaciones diferenciales **parciales**, para las cuales existen dos tipos de soluciones: "la **solución** analítica y la solución numérica".

Las soluciones analíticas son posibles solamente cuando se usan geometrías muy simples y es necesario suponer valores constantes para los coeficientes hidrológicos. **Prácticamente**, tales condiciones son muy difíciles o imposibles de obtener, por lo cual, **es** necesario utilizar otros métodos para obtener soluciones aproximadas bajo condiciones reales. El método más ampliamente usado para este propósito, son las soluciones numéricas, que utilizan como herramienta indispensable las modernas computadoras digitales.

En los modelos **físicos** el **costo** resulta muy elevado, es complicado modificarlos, presentan dificultades para la obtención de las mediciones y se producen efectos de **distorsión** por la escala; quedando restringido el uso de estos a la solución de

problemas de grandes dimensiones, involucrando gastos de inversión elevados.

Los modelos numéricos se prefieren sobre 105 modelos físicos, por su facilidad de manejo, su versatilidad, la rapidez en la obtención de 105 resultados y el bajo costo de operación.

Los modelos numéricos se han utilizado desde mediados del siglo pasado (Nihoul, 1975), pero su empleo con mas frecuencia y mejores resultados en investigaciones hidrodinámicas ha sido durante las dos últimas décadas, originado por la construcción de computadoras de alta velocidad de operación.

Los modelos numéricos se pueden utilizar para predecir o simular la variación espacio-temporal de parámetros y variables hidrodinámicas y de calidad del agua: altura del nivel del agua, velocidad de corrientes, descargas, salinidad, oxígeno, contaminantes, etc. El tamaño y complejidad de un modelo numérico depende de sus objetivos. El tratamiento de modelos grandes (múltiples opciones), requiere de mucho tiempo de computación, más datos experimentales y de más suposiciones, con lo cual su capacidad de predicción o simulación se ve reducida, motivando esto último la implementación de técnicas numéricas más adecuadas, de mayor rapidez y eficiencia. En este caso, se han utilizado diferencias finitas, aunque la modelación en elementos finitos se ha venido usando paralelamente.

## 2 OBJETIVOS.

Durante los últimos años, los modelos numéricos han estado usándose cada vez más para resolver las ecuaciones diferenciales que gobiernan el movimiento del mar bajo la acción de la marea y las fuerzas meteorológicas. Como resultado, han sido calculadas las mareas y olas de tormenta para una amplia gama de cuencas naturales del mar. Un importante concepto en el trabajo ha sido la formulación de modelos numéricos del mar, representando en forma digital, la geometría y las propiedades dinámicas de las cuencas naturales. Dentro de la estructura del modelo, las ecuaciones hidrodinámicas, expresadas en términos de diferencias finitas han formado la base de un procedimiento iterativo, por medio del cual, las mareas han sido desarrolladas numéricamente en una serie de pasos de tiempo, originándose las operaciones matemáticas a partir de un estado inicial. dado de desplazamiento y movimiento.

Mediante la aplicación de la aproximación numérica mencionada anteriormente, el presente trabajo tiene 105 objetivos siguientes:

1. - Adaptar a la Bahía de La Paz, B. C. S., México, un modelo bidimensional hidrodinámico numérico barotrópico verticalmente integrado en diferencias finitas.
2. - Aplicar este modelo a la Bahía de La Paz, para calcular la distribución de velocidades media y las variaciones superficiales del nivel del mar debidas a un armónico de las mareas la M2.

### 3 AREA DE ESTUDIO.

#### 3.1 DESCRIPCION.

La Bahía de La Paz, se localiza desde los  $24.1^{\circ}$  hasta los  $24.8^{\circ}$  de latitud Norte y de los  $110.2^{\circ}$  a  $110.8^{\circ}$  de longitud Oeste (Fig. 1). Es la Bahía más grande en la costa Este de Baja California; las aguas son profundas en casi toda su extensión. El régimen de mareas es mixto semidiurno. Al Este se encuentra la Isla del Espíritu Santo y el Promotorio Sur del Canal de San Lorenzo, mediante el cual existe comunicación al Golfo de California; al oeste, Punta Coyote; al Nor-Noroeste Cabeza de Mechudo; al Sur-Sureste la Ensenada de La Paz; al Norte re ubica una amplia frontera con el Golfo de California. La ciudad de La Paz, está situada al Sureste de la Bahía (Fig.2).

En la Bahía de la Paz, los vientos soplan por la mañana del Noroeste durante los meses de Noviembre a Mayo y después del crepúsculo cambian a vientos del Sur; durante el resto del año los vientos del Sureste y del Suroeste son los dominantes. Las calmas son frecuentes durante Primavera y Verano. Cabe hacer notar la presencia del fenómeno de brisa en la región (Secretaría de Marina, 1978).

La región de la Bahía de La Paz y sus alrededores presentan clima muy seco y cálido, tipo BW, las lluvias son escasas durante todo el año, presentándose comunmente en Verano e Invierno (Secretaría de Programación y Presupuesto, 1985). La temporada de ciclones se presenta en estos lugares durante los meses de Julio a Octubre.

El máximo de radiación efectiva se presenta al finalizar el Verano y el mínimo al iniciar el Invierno. La evaporación excede a la precipitación en mayor grado en Primavera y la diferencia es mínima a fines del Verano. La precipitación media anual es de 180 mm., presentándose con más frecuencia en el Verano, con un máximo en Septiembre. La evaporación promedio anual es de 215 mm., y la humedad relativa anual varía entre 62% y 70% (Pico, 1975).



CENTRO  
BIB  
I. S. S.  
DONATIVO

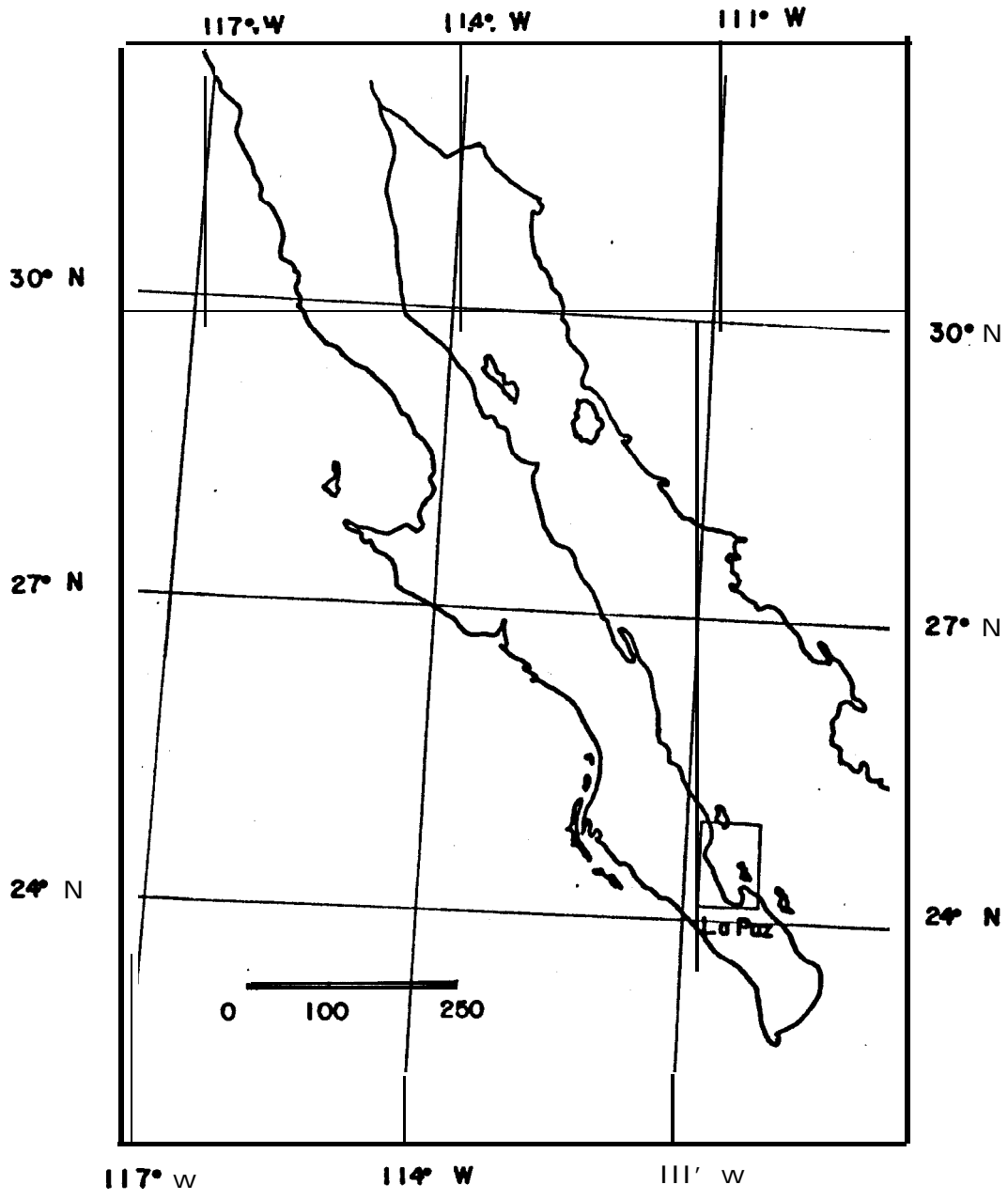


FIG. I.- LOCALIZACION GEOGRAFICA DE LA ZONA DE ESTUDIO.



FIG.2 LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO

### 3. 2 ANTECEDENTES.

La Bahía de La Paz ha sido estudiada parcialmente por algunos autores en diversos aspectos: Espinoza Avalos (1977), calculó los principales parámetros físico-químicos de las aguas de la Ensenada de La Paz, B. G. S., Cervantes, Guerrero, Escolano (1977), realizaron el análisis de la variación diurna de los principales parámetros físico-químicos de la Ensenada de La Paz, B.C.S., García Pámanes (1978), de terminó la distribución superficial de nitratos y silicatos en la Ensenada de La Paz B. C.C., Lechuga Deveze (1978), realizó un estudio de la producción orgánica primaria en la Ensenada de La Paz, B. C. S., Díaz y Espinoza (1979), estudiaron los aspectos sedimentológicos en las Lagunas Enfermería y Balandra en la Bahía de La Paz, B.C.S.; Díaz, Padilla y Pedrín (1981), analizaron la sedimentario?, reciente en el estero de Enfermería de la Bahía de La Paz, B. C. S.; Cervantes (1981), determinó la distribución de nutrientes en la Ensenada de La Paz, B. C. S., durante el período Primavera-Verano.; Cruz Orozco y Godínes Orta ( en prensa), realizaron el estudio hidrosedimentológico de los márgenes de la Laguna de La Paz, B. C. S.; Cruz Orozco et, al (en preparación), determinaron la vulnerabilidad de la Ensenada de La Paz, B. C. S., al impacto de derrames.

Respecto a la hidrodinámica de la Bahía de La Paz se cuenta con pocos trabajos, y los que existen no son específicos para este sistema: Grijalva (1972), realizó la investigación de la constituyente M<sub>2</sub> de la marea en el Golfo de California, mediante un modelo hidrodinámico numérico; Dressler (1981), realizó la investigación sobre mareas y efectos del viento en el Golfo de California mediante un modelo hidrodinámico numérico; Morales ,(1982), realizó un estudio de mareas y vientos en la Ensenada de La Paz, B. C. S.; Dressler (1982), realizó una investigación sobre la constituyente M<sub>2</sub> de la marea y la circulación forzada por el viento en la Ensenada de La Paz, B. C. S., mediante un modelo hidrodinámico numérico; Jiménez Illescas (1983), realizó el pronóstico de calidad del agua en la Ensenada de La Paz, B. C. S., mediante la aplicación de un modelo hidrodinámico numérico.

## 4 MODELO.

### 4.1 HISTORIA.

Existen dos planteamientos principales para la modelación matemática: la empírica o conceptual y la racional o científica. Considerando este último planteamiento, los Griegos, especialmente Arquímedes, hicieron estudios que pueden ser considerados como pioneros en la modelación científica. Sin embargo no fue hasta el Renacimiento que fueron impulsadas las bases para la modelación científica, Galileo hizo importantes adelantos, pero fue Newton quien estableció el esquema fundamental que es todavía la base de la modelación científica.

La utilización de los modelos numéricos para resolver problemas en el océano ha ido en aumento en los últimos años debido a la facilidad que representa el manejar diversas variables y sobre todo a que es posible la solución e integración de problemas con carácter no lineal.

Un problema de este tipo es encontrar las variaciones de la superficie del mar y la distribución de corrientes; estas son causadas por la acción de las mareas y las fuerzas meteorológicas, y se presentan en regiones donde son importantes los efectos de fricción y de interacción de varias fuerzas.

Como ejemplo de la aplicación de estos métodos de solución se puede mencionar el cálculo de la propagación de la marea y de olas de tormenta, para una amplia gama de cuencas naturales del mar (Hansen, 1956, 1962 y 1966; Proudman 1955a, 1955b y 1957; Stock 1976; Rossiter 1961; Lauwerier y Damste 1963; Heaps, 1969; Banks, 1974; Grijalva, 1972; Dressler, 1981 y 1982; Jiménez Illescas, 1983).

Los efectos de interacción son de origen hidrodinámico (Proudman 1955a). Ellos son causados por la acción de la fricción y la variación en la rapidez de propagación de la onda la cual modifica una ola en presencia de la marea (Banks, 1974). Tales efectos son introducidos a través de los términos no lineales en las ecuaciones hidrodinámicas, que gobiernan la respuesta del mar, a mareas y fuerzas meteorológicas. Por la complejidad de estas ecuaciones, al

aplicarlas a problemas reales en el mar, es necesario utilizar métodos numéricos, como el de diferencias finitas (los principios de los cuales fueron descritos por Richtmyer, 1957), que son frecuentemente usados para obtener soluciones aproximadas para las mareas y movimientos de olas. Tales métodos numéricos forman la base de los métodos matemáticos para el estudio de la dinámica de mares y estuarios (Heaps, 1969).

#### 4. 2 DESCRIPCION.

Existen cinco etapas básicas o fases requeridas para resolver un problema con la ayuda de la computadora digital (solución numérica), cada una de las cuales es individual y colectivamente importante para la obtención de resultados significativos.

##### 4. 2. 1 DETERMINACION DEL AREA DE ESTUDIO.

En el estudio de una región, es necesario definir en primer término, la extensión y las fronteras del área que será objeto de estudio. ES recomendable considerar fronteras naturales o tratar de aproximarse lo más posible a la realidad, así como evitar la modelación de redes con elementos demasiado grandes o demasiado, pequeños. En el último caso son necesarios muchos cálculos, esto disminuye la eficiencia y aumenta el costo de la simulación o predicción del fenómeno en estudio; mientras que si los elementos son demasiado grandes, algunas características importantes podrían ser ignoradas por el modelo. Menos importantes pueden ser, otras características físicas de la región, tales como la permeabilidad del fondo, la evaporación, etc.

Finalmente, las condiciones de frontera, expresadas como series de datos de propiedades hidrológicas empleadas en el modelo, deben ser medidas o estimadas, en la región de estudio. Esto es frecuentemente el aspecto más difícil de la preparación de tales modelos, debido a que este tipo de datos no se encuentra disponible o es extremadamente

costosa su obtención. Sin embargo, el éxito de la modelación depende mucho de la precisión de esta información.

GENE  
C.  
BIBLIOTECA  
I.P.N.  
DONATIVO

#### 4. 2. 2 PLANTEAMIENTO MATEMATICO.

Una vez definida el área de estudio y las características de la región, el segundo paso consiste en la obtención de las ecuaciones matemáticas, que gobiernan el comportamiento de las propiedades a pronosticar o simular.

Las leyes de conservación y relaciones empíricas son frecuentemente empleadas en estos procesos y expresadas por medio de ecuaciones diferenciales parciales. Los métodos numéricos empleados, requieren de ecuaciones en diferencias para efectuar las iteraciones que conducirán a la solución, por lo cual son obtenidas estas ecuaciones a partir de ecuaciones diferenciales parciales, lineales o no lineales.

#### 4.2. 3 DISCRETIZACION DEL MODELO.

Para tratar las ecuaciones definidas sobre un dominio continuo, con ayuda de la computadora digital, es necesario discretizar las variables independientes o dominio del problema y transformar las ecuaciones en una nueva serie sobre el dominio discretizado. Tales procesos introducen claramente un grado de aproximación adicional en el modelo, es necesario entonces, la formulación de un procedimiento iterativo para calcular los resultados. Han sido desarrolladas diferentes técnicas para este proceso, diferencias finitas y elementos finitos.

#### 4.2.4 DESARROLLO DEL PROGRAMA PARA LOS CALCULOS.

Una vez que el problema ha sido **discretizado**, es posible escribir un programa para computadora capaz de realizar los cálculos requeridos para la solución. Están disponibles muchas **técnicas** o **lenguajes** para ayudar a organizar y estructurar tales programas; algunas de las cuales son: **Fortran, Cobol, Pascal, Basic**, etc. También es necesario preparar archivos de entrada con los datos obtenidos del **área** de estudio.

#### 4.2.5 CALIBRACION DEL MODELO.

Los resultados **numéricos** obtenidos del programa de computadora pueden o no corresponder al comportamiento de las propiedades **físicas** en la región **bajo** estudio. Las discrepancias observadas pueden ser debido a una variedad de causas **tales** como: falta de información, error en los parámetros y variables físicas, error en la formulación matemática, errores en el programa de **cálculo**, suposiciones erróneas, malas aproximaciones etc. **Consecuentemente**, deberá ser usado un planteamiento sistemático para intentar localizar la fuente de **tales** errores y efectuar arreglos en el programa, de tal manera que el modelo pueda emitir una **solución más** aproximada a la realidad.

El proceso de calibración es decisivo en la optimización del modelo y es la forma de adecuar los rasgos generales de la solución, a los observados en la **región** de estudio aumentando la confiabilidad de los resultados.

Todo este planteamiento implica la necesidad de efectuar millones de operaciones antes de llegar a la solución de un sistema de **ecuaciones** diferenciales parciales por lo **cual**, se hace indispensable, el uso de computadoras digitales de alta velocidad y gran **capacidad**; **sin embargo** hay una gran cantidad de actividades que deberán ser consideradas para poder desarrollar un modelo **numérico** confiable.

### 4.3 RESOLUCION DE ECUACIONES.

#### 4. 3. 1 DIFERENCIAS FINITAS.

Las ecuaciones **diferenciales** parciales constituyen una de las ramas del análisis **numérico** que más rápidamente se ha desarrollado. Los campos de aplicación en los que ocurren las ecuaciones **diferenciales parciales** (física nuclear, Aerodinámica, Hidrodinámica, etc.) **están** adquiriendo cada vez mayor importancia. **Más aun,** el desarrollo de las computadoras modernas ha hecho posible **trabajar** problemas que eran materialmente imposible de resolver.

La definición **clásica** de la derivada de una función de una sola variable se propone generalmente en la forma:

$$dy/dx = \lim_{h \rightarrow 0} (y(x+h) - y(x))/h$$

En una computadora digital no podemos tomar límites. Podemos sin embargo hacer que **(h)** tenga un valor pequeño (pero obviamente no nulo) y se puede demostrar que la aproximación **es** suficientemente cercana y que los errores no crecen conforme continúa el **proceso**.

**El método se puede** describir como la sustitución de una derivada por una diferencial (**McCracken, 1978**).

**Por ejemplo:**

$$\Delta y / \Delta x = (y(x+h) - y(x-h)) / 2 \Delta h$$

En este caso **usaremos** precisamente este procedimiento para resolver ecuaciones **diferenciales parciales,** **trabajando** con aproximaciones que **serán** presentadas como diferencias.

La **técnica** de diferencias finitas es uno de los métodos más directos para resolver un sistema de ecuaciones



diferenciales parciales con ayuda de las computadoras. Al utilizar este artificio, la región en la cual las ecuaciones son definidas debe ser discretizada en una red regular y finita de puntos; las derivadas que se tienen son entonces aproximadas por diferencias y sustituidas en las ecuaciones originales. Apoyándose en las condiciones iniciales y en las condiciones de frontera de la región, pueden ser calculados sucesivamente los valores de los puntos interiores de la red.

En esta técnica de diferencias finitas, deben ser consideradas algunas propiedades Útiles. Por ejemplo, que el tamaño de la red sea reducido, la aproximación de la solución numérica debe converger a la solución analítica. Si esta condición se cumple el método se dice que es convergente. Además, debe ser posible estimar o limitar el tamaño del error en términos de los tamaños de los componentes de la red para tener un método estable.

Hay diferentes caminos para aproximar las derivadas de las ecuaciones diferenciales, algunos de los cuales son: diferencias hacia adelante, diferencias hacia atrás, diferencias centrales, etc. (Fig. 3).

Como ejemplo, consideremos solamente diferencias en la dirección (x).

i. - Diferencias hacia adelante:

$$\Delta y / \Delta x = (y(i+1, j) - y(i, j)) / \Delta x$$

ii. - Diferencias hacia atrás:

$$\Delta y / \Delta x = (y(i, j) - y(i-1, j)) / \Delta x$$

iii. - Diferencias centrales:

$$\Delta y / \Delta x = (y(i+1, j) - y(i-1, j)) / 2 \Delta x$$

En este **trabajo** de investigación se usará el método de **diferencias** centrales, por su alta velocidad de convergencia y estabilidad.

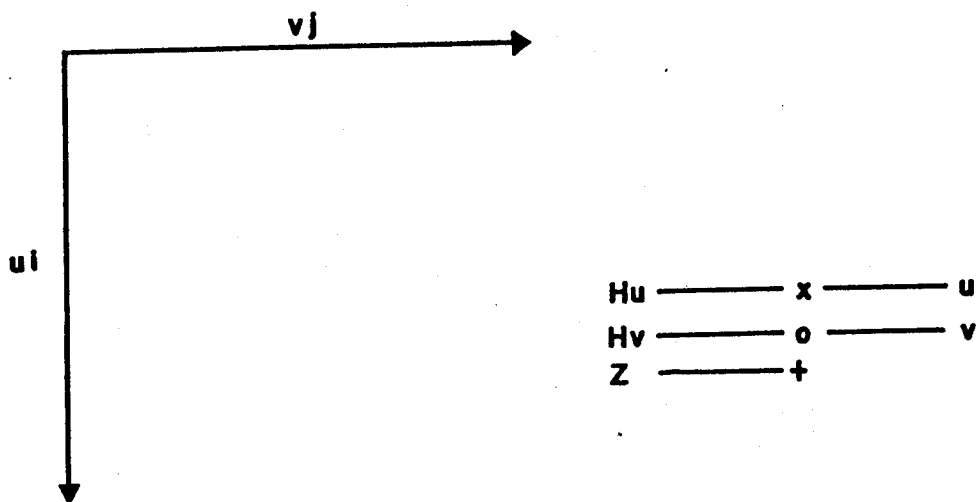
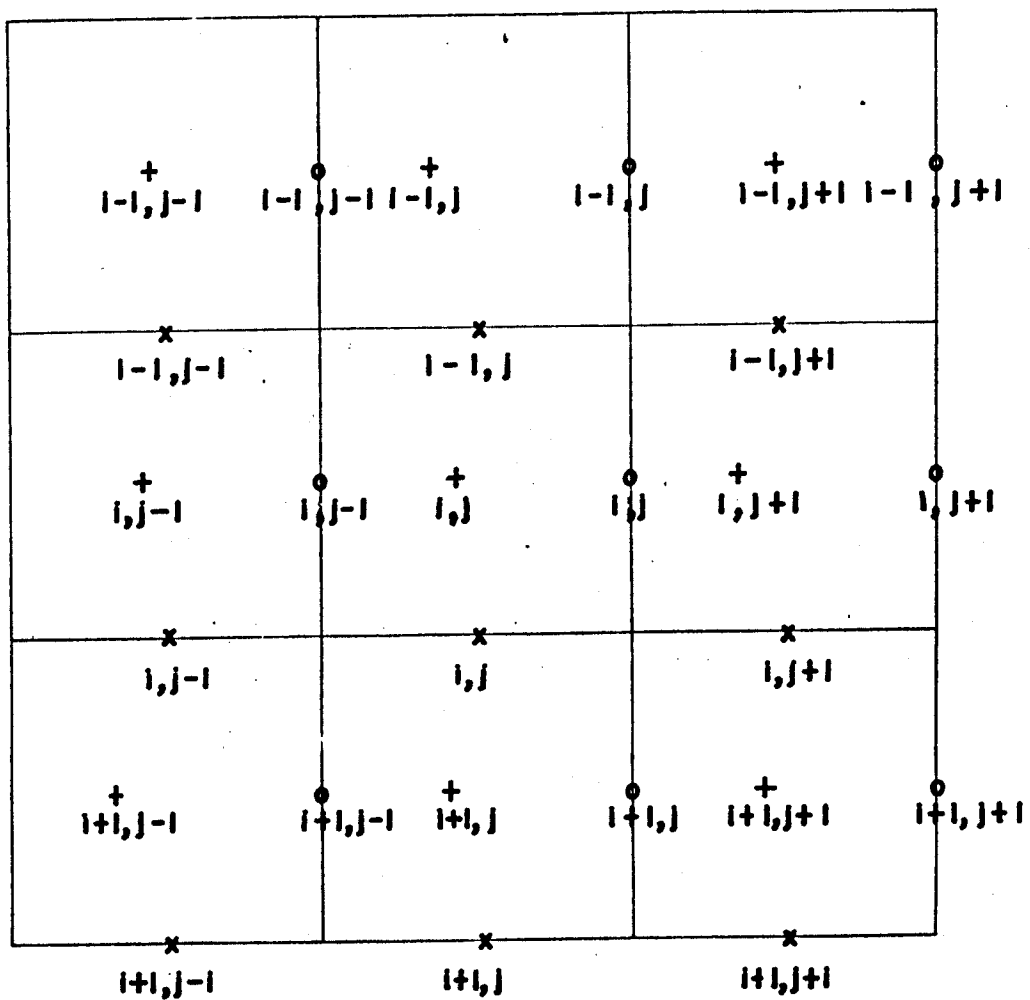


FIG. 3- REPRESENTACION DE LAS MALLAS  $(H_u, H_v, Z)$ .

#### 4.3.2 SISTEMAS DE ECUACIONES.

En la presente investigación se utilizará un modelo bidimensional hidrodinámico numérico, integrado verticalmente con la perturbación de la principal componente lunar la M2, en la frontera abierta al Golfo de California. Con las siguientes condiciones de frontera: la velocidad de la corriente normal a la costa es igual a cero ( $V_n=0$ ), la variación normal de la velocidad tangencial a la costa es nula ( $(V_t)_n=0$ ; en el mar (frontera abierta) es decir en la comunicación con el mar abierto (en este caso con el Golfo de California) el gradiente normal de la corriente es nulo y se prescribe el nivel del agua 0 velocidades a partir de mediciones.

El modelo tiene como base la ecuación de continuidad o conservación de masa y las 5 ecuaciones de movimiento o conservación de ímpetu, con las cuales se describe el movimiento del agua en forma macroscópica. Las ecuaciones son simplificadas y adaptadas adecuadamente para encontrar la solución numérica apoyándose en la batimetría y en las condiciones de frontera.

El nivel del mar varía armónicamente en la frontera abierta al Golfo de California, como:

$$Z(x, y, t) = A(x, y) * \text{SIN}(W*t)$$

Donde:

$Z(x, y, t)$  = Variación de la superficie del mar.

$A(x, y)$  = Amplitud de la constituyente M2.

$w$  = Velocidad angular de la constituyente M2.

$t$  = Tiempo.

i. - Ecuación de continuidad.

$$\frac{\partial}{\partial z} w + \frac{\partial}{\partial x} u + \frac{\partial}{\partial y} v = 0$$

ii.- Ecuaciones de movimiento.

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U\frac{\partial U}{\partial x} + V\frac{\partial U}{\partial y} + RU - AH \nabla^2 U - fV + g\frac{\partial Z}{\partial x} = F_x$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U\frac{\partial V}{\partial x} + V\frac{\partial V}{\partial y} + RV - AH \nabla^2 V + fU + g\frac{\partial Z}{\partial y} = F_y$$

Donde:

$(x, y)$  = Coordenadas cartesianas.

$U(x, y, t)$  = Componente de la velocidad de la corriente integrada verticalmente en la dirección  $(x)$ .

$V(x, y, t)$  = Componente de la velocidad de la corriente integrada verticalmente en la dirección  $(y)$ .

$Z(x, y, t)$  = Variación de la superficie del mar.

$f$  = Parámetro de Coriolis.

$g$  = Gravedad

$AH$  = Coeficiente horizontal de viscosidad ( $m^2/seg$ ).

$t$  = Tiempo

$R$  = Coeficiente de fricción en el fondo.

$H_u$  = Profundidad en los puntos de la red en los cuales se calculará la velocidad  $(U)$ .

$H_v$  = Profundidad en los puntos de la red en los cuales se calculará la velocidad  $(V)$ .

$H$  = Profundidad instantánea del mar ( $H = H_u + Z$ ) y también ( $H = H_v + Z$ ).

$F_x$  = Componente de la fuerza generadora de la marea en la dirección  $(x)$ .

$F_y$  = Componente de la fuerza generadora de la marea en la dirección  $(y)$ .

$\nabla^2 U$  = Laplaciano de  $(U)$ .

$$\nabla^2 v = \text{Laplaciano de } (v).$$

El sistema de ecuaciones diferenciales se resuelve por medio del método de diferencias finitas centradas. En las **ecuaciones** sustituimos las expresiones diferenciales por diferencias finitas centradas en el espacio y adelantadas en el tiempo. Se **efectua** la integración del sistema de ecuaciones en todo el espacio para cada paso de tiempo.

Las componentes de la velocidad de la corriente  $(U, V)$  son integradas verticalmente desde una profundidad media  $(-h)$  hasta la superficie libre  $(Z)$ .

Como **ejemplo** de diferencias centrales tenemos:

i. - Para el tiempo.

$$\Delta U / \Delta t = (U(i, j)_{t+\Delta t} - U(i, j)_t) / \Delta t$$

ii. - En la dirección  $(x)$ .

$$\Delta U / \Delta x = (U(i+1, j) - U(i-1, j)) / 2 \Delta x$$

iii. - En la dirección  $(y)$ .

$$\Delta U / \Delta y = (U(i, j+1) - U(i, j-1)) / 2 \Delta y$$

#### 4. 4 PARAMETROS Y VARIABLES NECESARIAS.

Para desarrollar la solución numérica es necesario conocer los **parámetros** correspondientes a la batimetría, y las condiciones de frontera variables (Diagrama 1).

La batimetría se proporciona en dos mallas centralmente acopladas y regularmente espaciadas ( Diagrama 2 y Fig. 4).

Primeramente se hace la **discretización** del sistema, para delimitar las fronteras, tratando que estas describan lo **más** aproximado posible la región de estudio.

En la determinación del intervalo de solución numérica en tiempo ( $t$ ) y en espacio ( $\Delta x$ ) y ( $\Delta y$ ), se debe tomar en cuenta el criterio desarrollado por (Courant-Friedrich-Lewy, 1928).

Si  $\Delta x = \Delta y$ , tenemos:

$$\Delta t = \Delta x / (2 * g * h_{max})^{0.5}$$

Para este caso:

$$\Delta x = 2906.1 \text{ m}$$

$$h_{max} = 332.0 \text{ m}$$

$$g = 9.81 \text{ m/seg}^2$$

La estabilidad se logra cuando se tiene del modelo una respuesta de estado cuasi-estacionario, es decir, cuando se obtenga que, las elevaciones de la superficie y las velocidades de las corrientes sean prácticamente las mismas de un periodo a otro. Para lograr esto, se tienen que proporcionar condiciones de frontera lo más cercano a la realidad.

Las condiciones de frontera son valores de amplitud y fase para la onda del armónico M2 del componente de la marea en todos los puntos de la frontera abierta con el Golfo de California. Esto **determina**, la **oscilación** armónica de los puntos de frontera abierta, con respecto al tiempo.

Los datos de profundidad y **configuración** para la Bahía de La Paz fueron obtenidos del mapa batimétrico de la Defense Mapping Agency Hydrographic Topographic Center, de Febrero de 1982, con una escala de 1:290610.

Cabe hacer notar que la información batimétrica que se **encuentra** de la Bahía de La Paz fue incompleta, por lo cual fue necesario hacer la **interpolación** cúbica de algunos valores. Para esto se utilizó un programa de **computación** desarrollado por Jiménez Illescas, 1983 (Fig. 5).

Los intervalos espaciales de solución numérica ( $\Delta x$ ) y ( $\Delta y$ ) para la región de estudio se definieron en base a la configuración de la región y al tamaño de la red de puntos que no5 permita tener un método estable. Para determinar el intervalo temporal de solución numérica ( $\Delta t$ ), referido a un período de la marea (44714 seg), se uso el criterio de (Courant-Friedrich-Lewy, 1928), tomando para ello el valor máximo de la profundidad, pues con ello se obtiene el valor más pequeño de ( $\Delta t$ ), de donde se estimó ( $\Delta t = 21.833$  seg); dando con esto (2048) pasos de tiempo en el período de la marea, y determinando con ello la estabilidad del modelo.

Con los parámetros y variables anteriores se corrió el programa del modelo en la computadora marca Prime del CICIMAR, para un período de la marea, utilizándose los coeficientes  $AH=386.818 \text{ m}^2/\text{seg}$  y  $R=0.003$ .





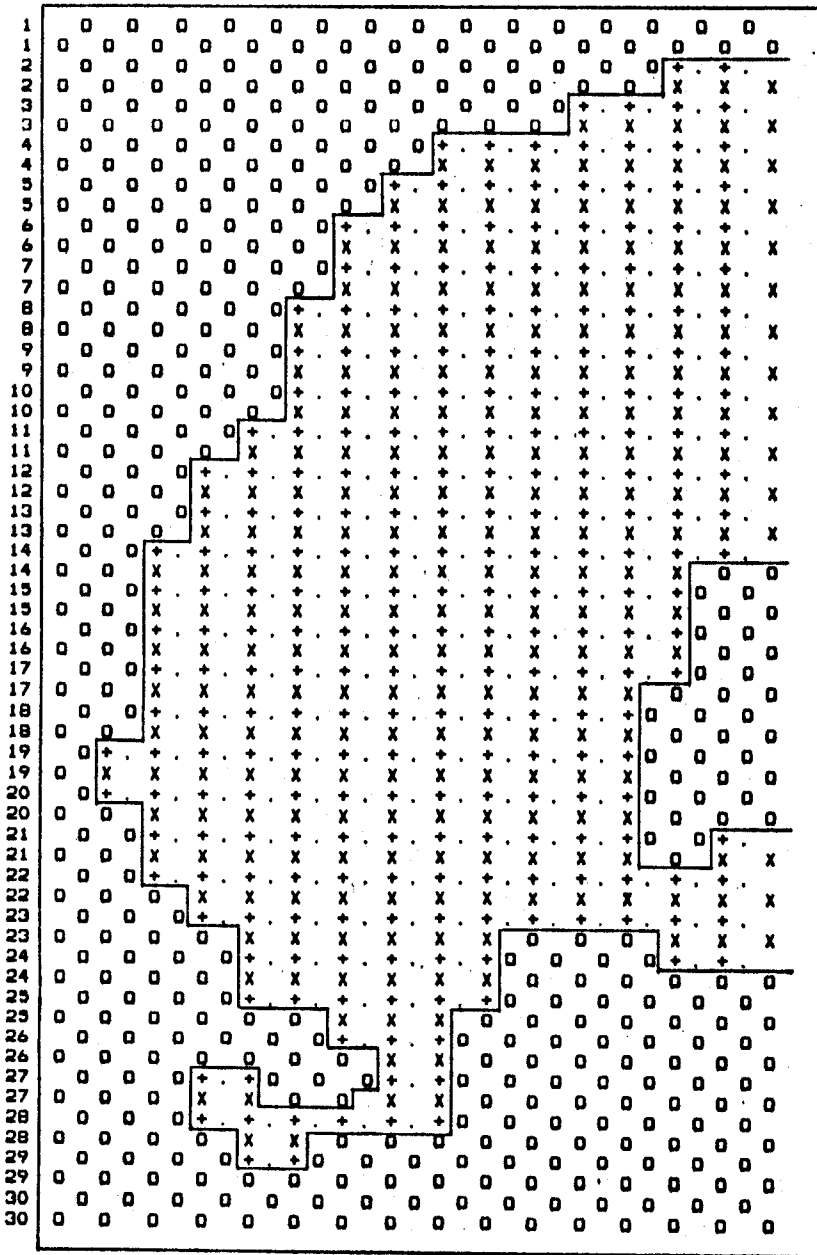


Diagrama 2.-Representación simbólica de la malla utilizada en este trabajo.

x:puntos donde se calcula la velocidad o transporte U.

.:puntos donde se calcula la velocidad o transporte V.

+:puntos donde se calcula la variación del nivel del agua.

0:puntos en tierra.

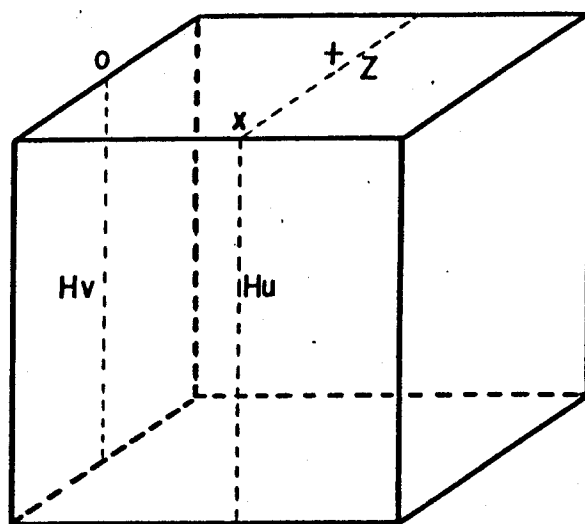


FIG.4 REPRESENTACION DEL ACOPLAMIENTO DE LAS MALLAS (Hu,Hv, Z)

\* BATIMETRIA \* BLP

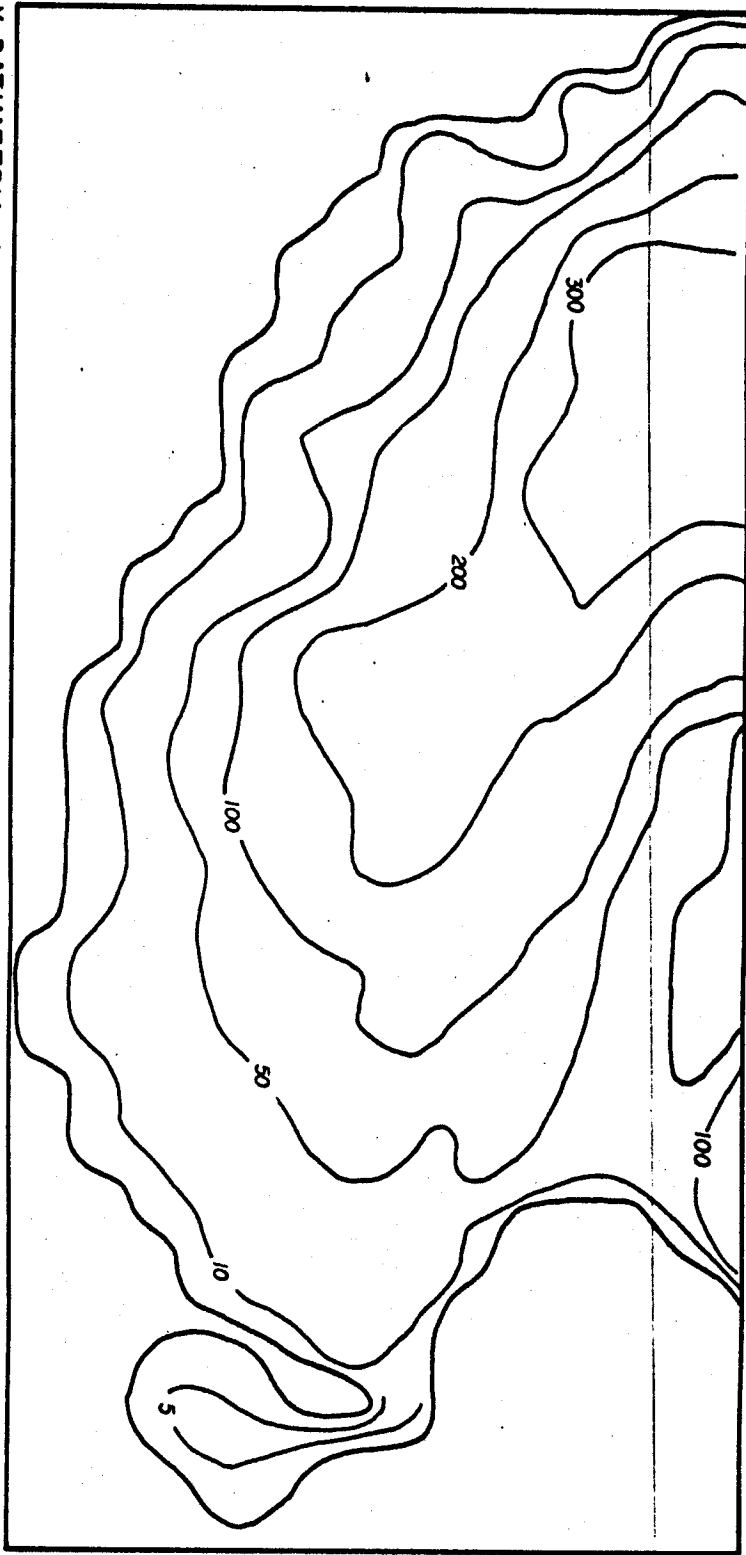


Fig.5.-Distribución de isobatas en metros de la Bahía de La Paz.

## 5 TRABAJO DE CAMPO.

Se llevaron a **cabo** tres campañas de **mediciones**, la primera en Mayo de 1985, la **segunda** en Julio y la tercera en Noviembre del mismo **año**.

La secuencia de **trabajo** en cada **campana** es como se muestra a **continuar ión**.

En la primera campaña de mediciones el primer **día** se instaló una regla de marea+ en Canal de San Lorenzo, una de las fronteras abiertas al Golfo de California.

Con la regla de marea se registraron **cada** 15 minutos la **variación** del nivel del mar durante 24 horas continuas.

EX día siguiente nos trasladamos a Cabeza de Mechudo, la otra frontera abierta al Gofu de California, donde se instaló la regla de marea , registrando la **variación superficial** del mar cada 15 minutos durante 24 horas continuas (Fig.6).

En la segunda campaña de mediciones el primer día nos trasladamos a Cabeza de Mechudo instalando la regla de **marea**, registrando la **variación superficial** del mar cada 15 minutos durante 25 horas en forma continua.

El día siguiente nos trasladamos a canal de San Lorenzo instalando la regla de marea , registrando la **variación superficial** del mar cada 15 minutos durante 25 horas continuas (Fig. 7).

En la tercera **campana** de mediciones se instaló un **corrientómetro\*** de registro discreto y automático en Canal de San Lorenzo y se **midió** en farma simultanea en siete puntos de la **Bahía**(Cabeza de Mechudo, Canal de San Lorenzo, San Juan de la Costa, **Quelele**, Muelle Fiscal, Cicimar y **Cib**) la **variación superficial** del nivel del mar con reglas de **marea**, cada 15 minutos durante 24 horas continuas (Figs.8 a 13).

El **corrientómetro** registró **automáticamente** la intensidad de la corriente en el centro del canal a 5 metros de profundidad, cada **10** minutos durante 24 horas continuas (Fig.14).

Con los datos obtenidos en el campo se calibró el modelo de la Bahía de La Paz y se comprobó su confiabilidad, y estabilidad.

**\*Regla de marea:** instrumento que consta de un tubo de poliuretano o vinilo transparente de un pulgada de diámetro interno, el cual está sostenido en una regla de madera graduada de una pulgada de grosor, 4 pulgadas de ancho y 16 pies de larga

**\*Corrientómetro:** tipo Aandera de registro discreto automático. Los datos se graban en una cinta magnética, con intervalo de tiempo constante.

**ALTURAS DE MAREA REGISTRADAS EN MAYO Y JUNIO DE 1985, EN  
CABEZA DE MECHUDO Y CANAL DE SAN LORENZO**

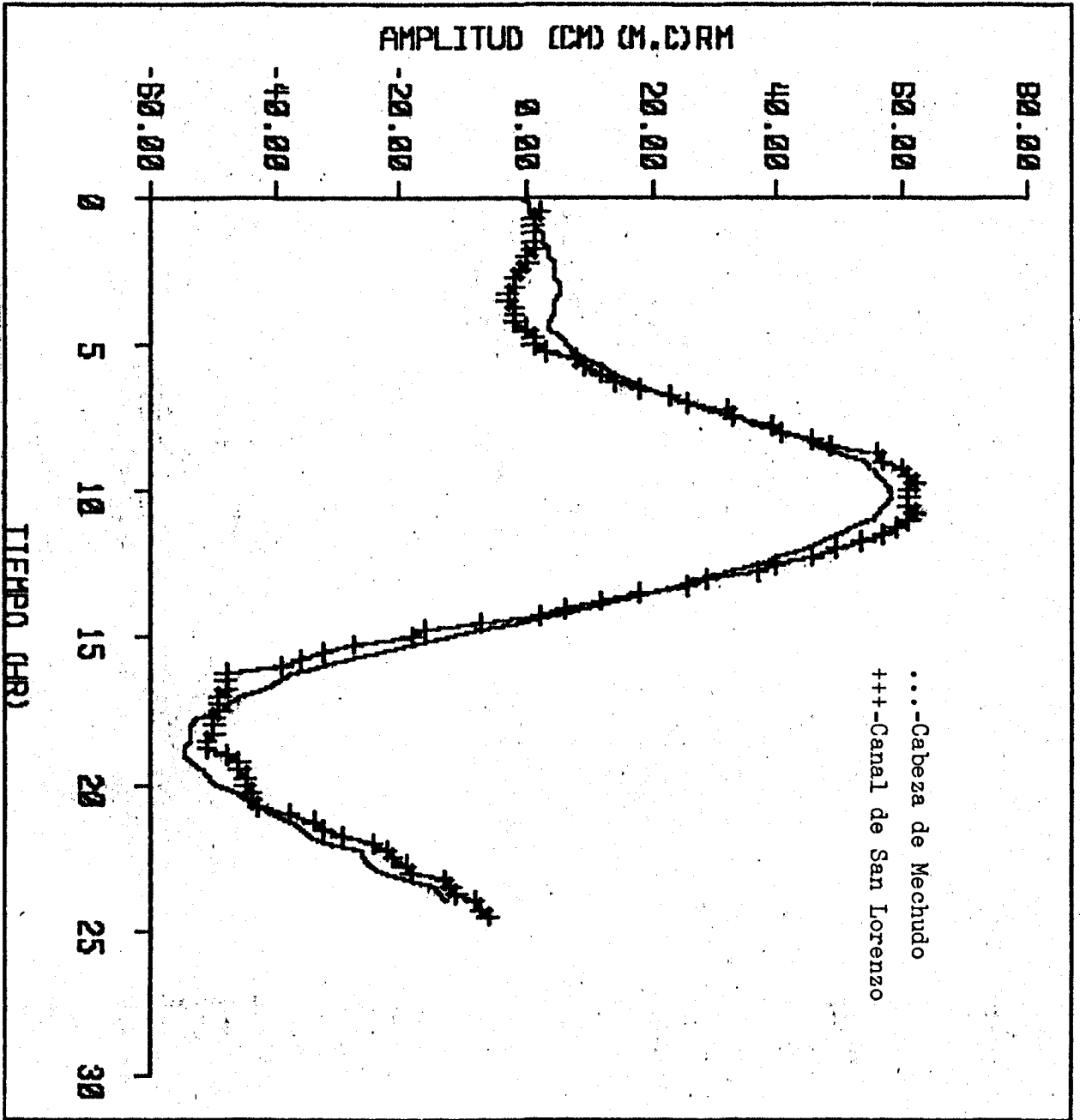


Fig.6.-Alturas de marea registradas en Cabeza de Mechudo y Canal de San Lorenzo durante el 22-23 de mayo de 1985.



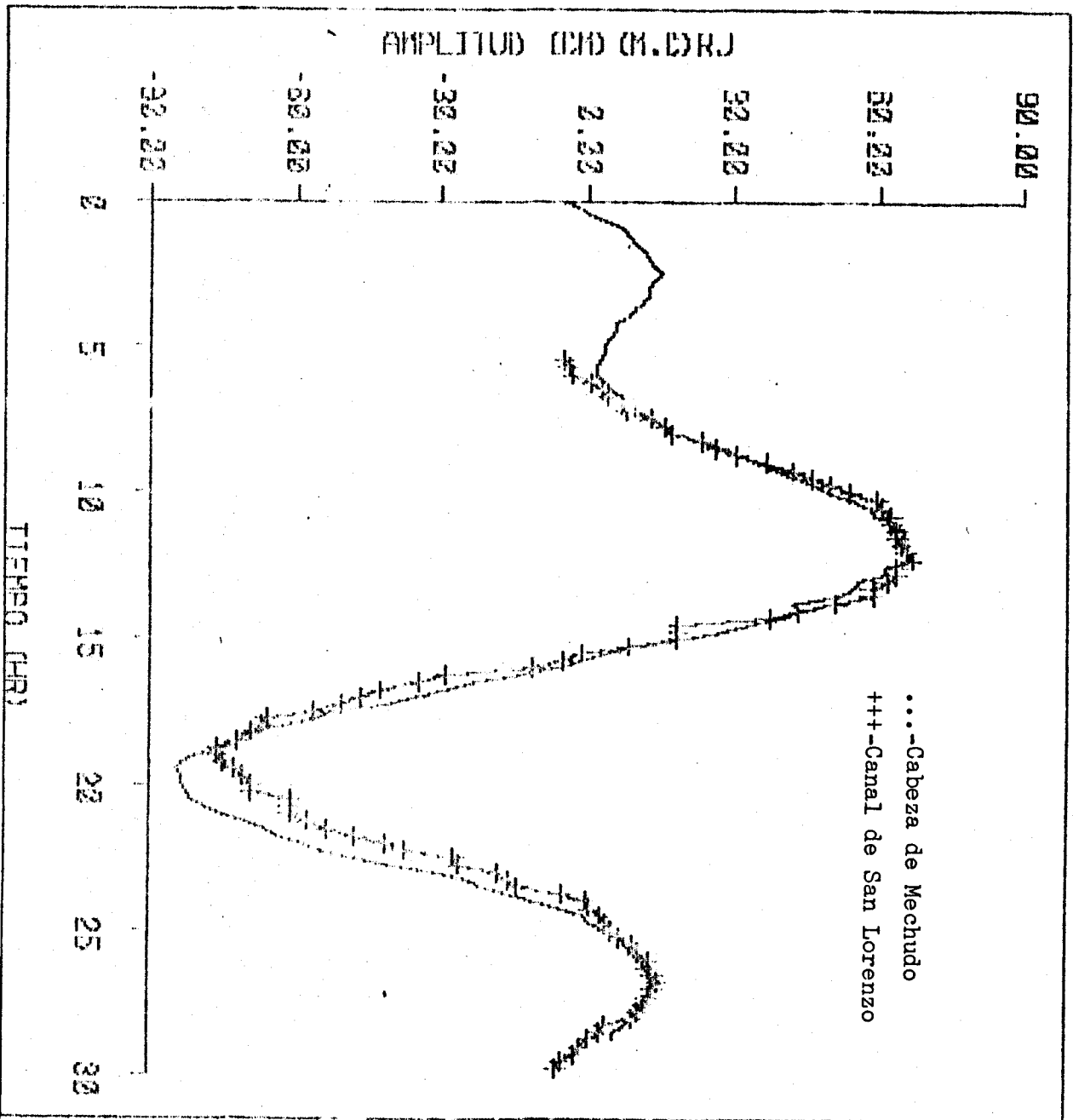


Fig.7.-Alturas de marea registradas en Cabeza de Mechudo y Canal de San Lorenzo durante el 22-23 de julio de 1985.

ALTURAS DE MAREAS REGISTRADAS EN CABEZA DE MECHUDO, CANAL DE  
SAN LORENZO, SAN JUAN DE LA COSTA, QUELELE, MUELLE FISCAL,  
CICIMAR, CIB Y VELOCIDADES EN CANAL DE SAN LORENZO

NOVIEMBRE RE 1985

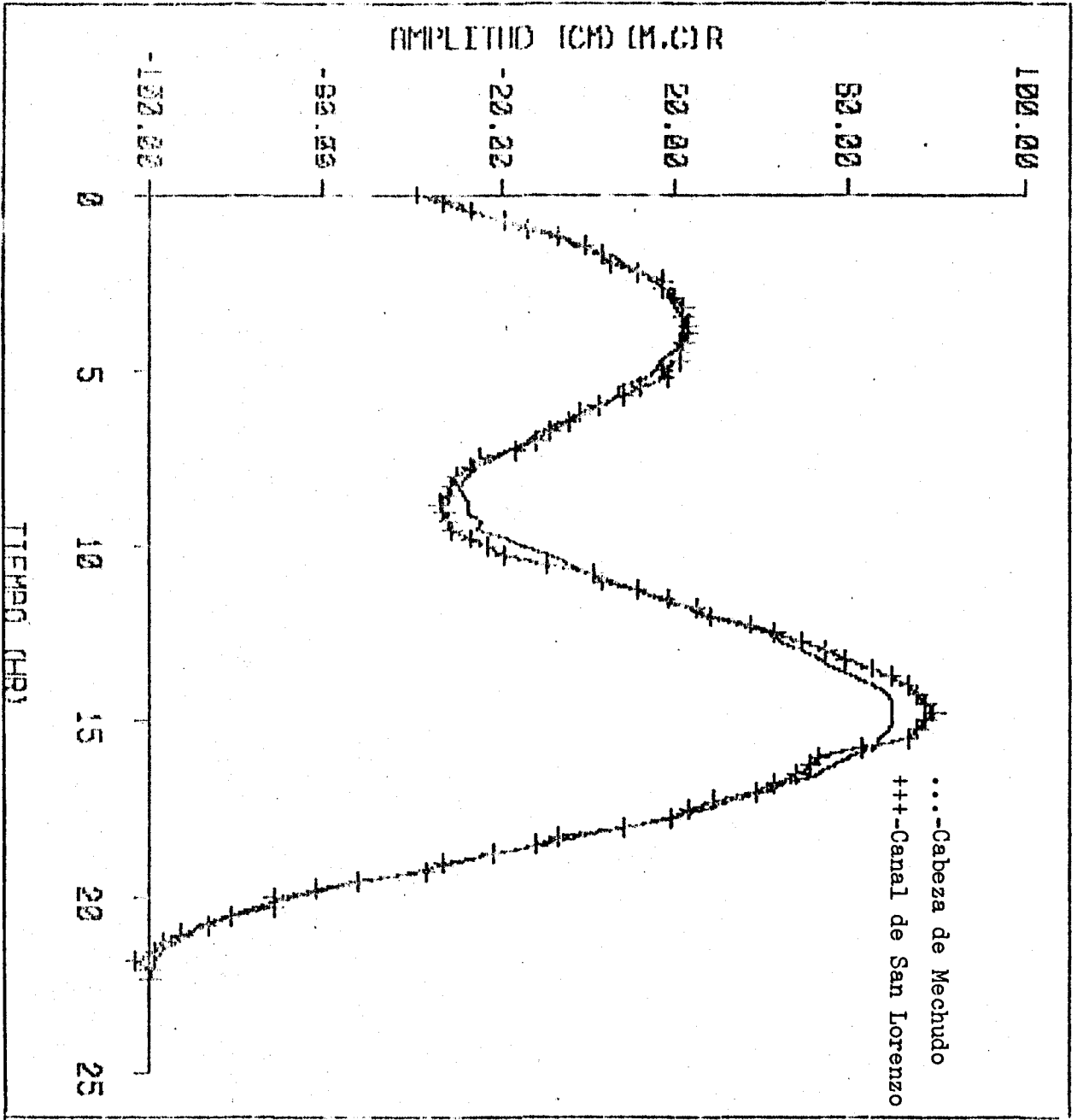


Fig.8.-Comparación con respecto a Cabeza de Mechudo de las alturas de marea registradas en Canal de San Lorenzo durante el 11-12 de noviembre de 1985.

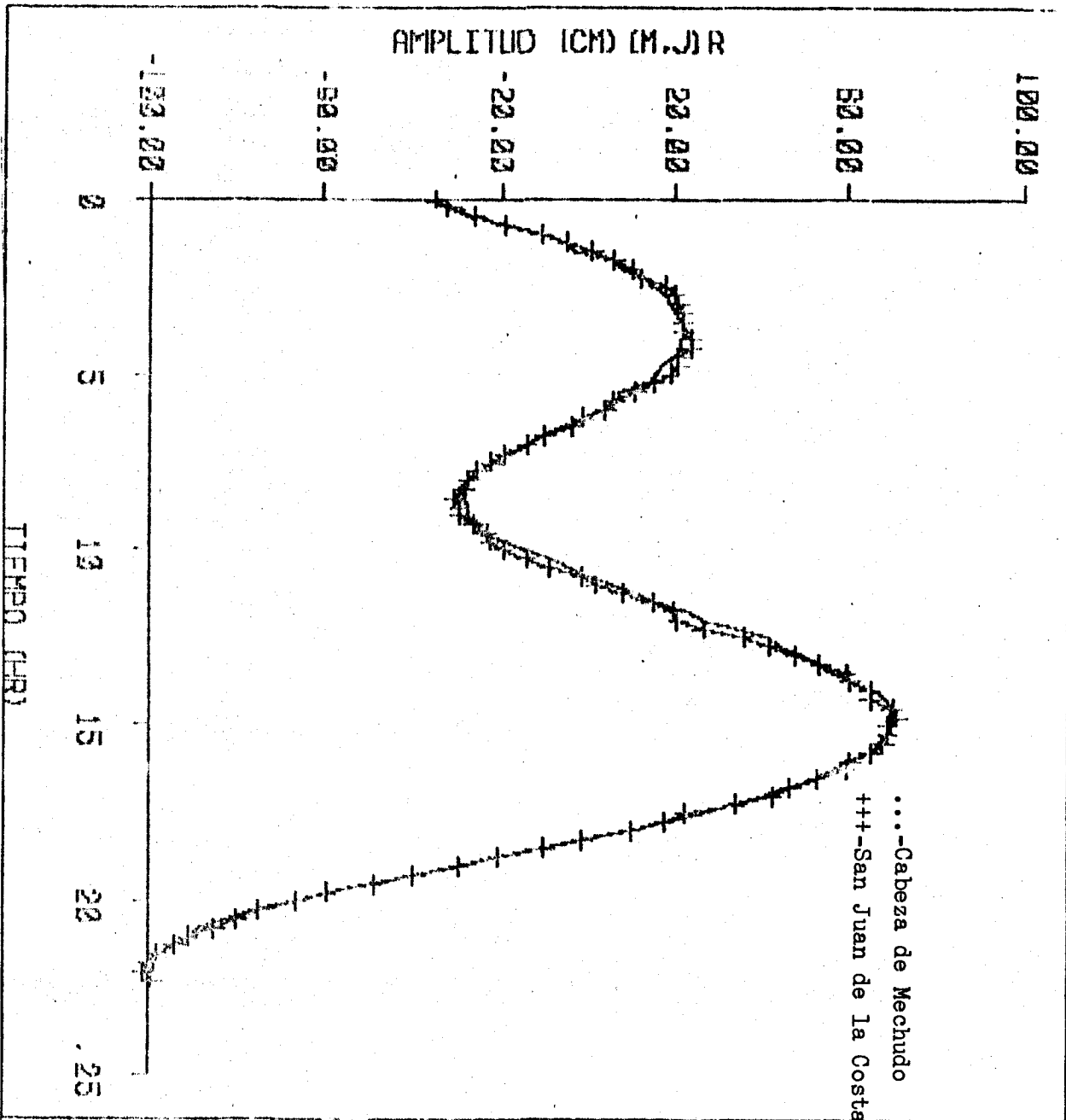


Fig.9.-Comparación con respecto a Cabeza de Mechudo de las alturas de marea registradas en San Juan de la Costa durante el 11-12 de noviembre de 1985.

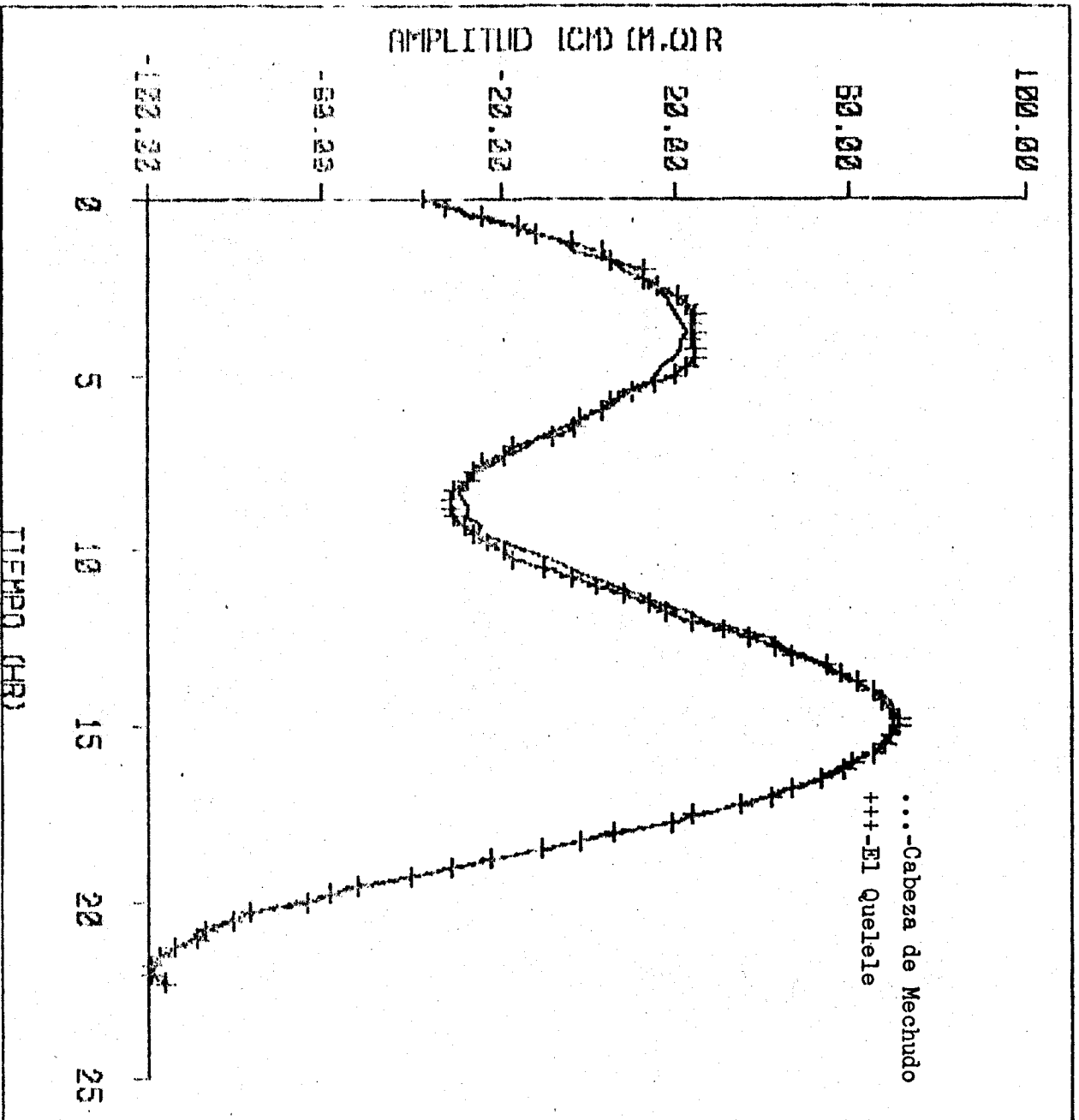


Fig.10.-Comparación con respecto a Cabeza de Mechudo de las alturas de marea registradas en el Quelele durante el 11-12 de noviembre de, 1985.

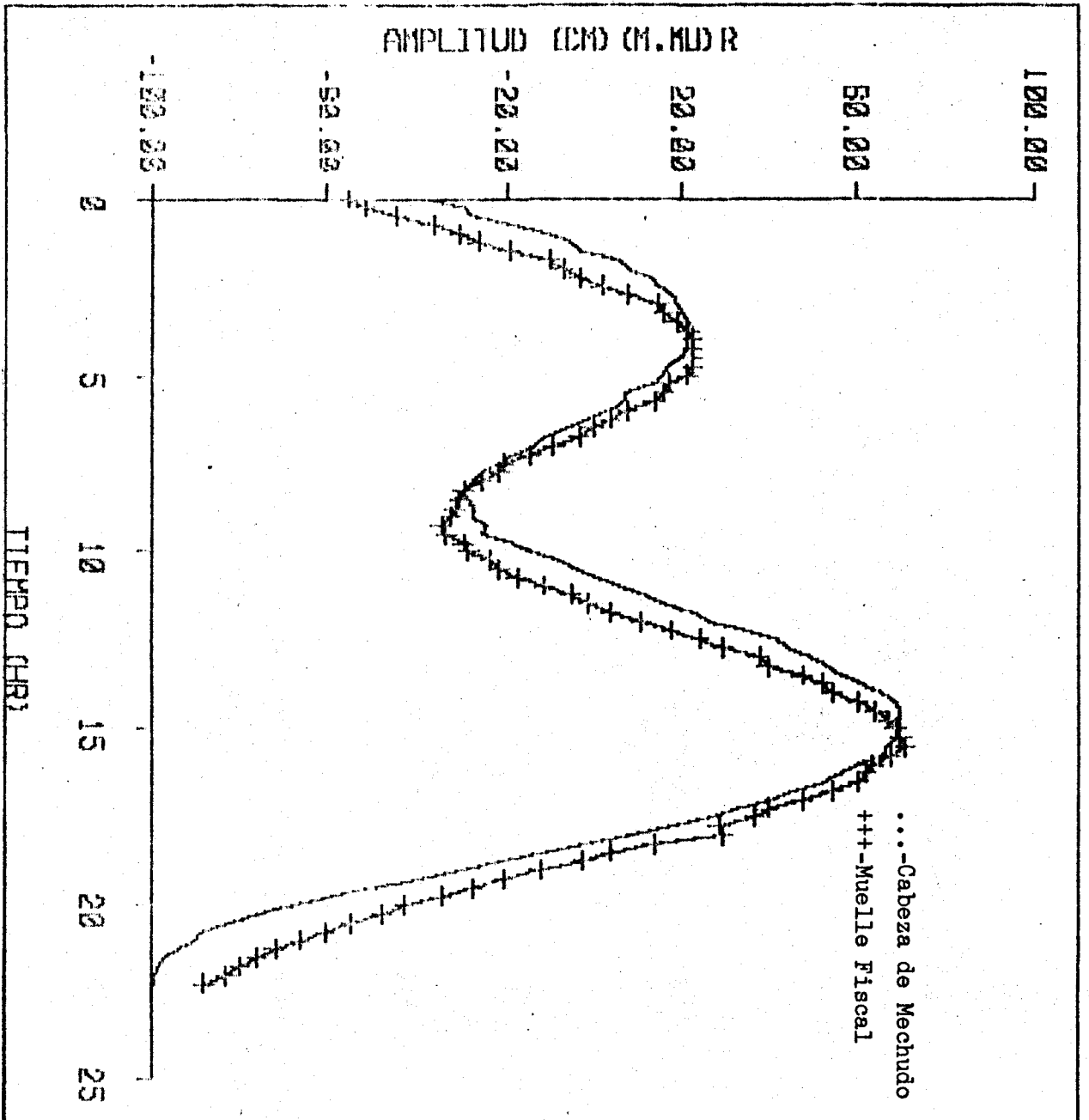


Fig.11.-Comparación con respecto a Cabeza de Mechudo de las alturas de marea registradas en el Muelle Fiscal durante el 11-12 de noviembre de 1985.

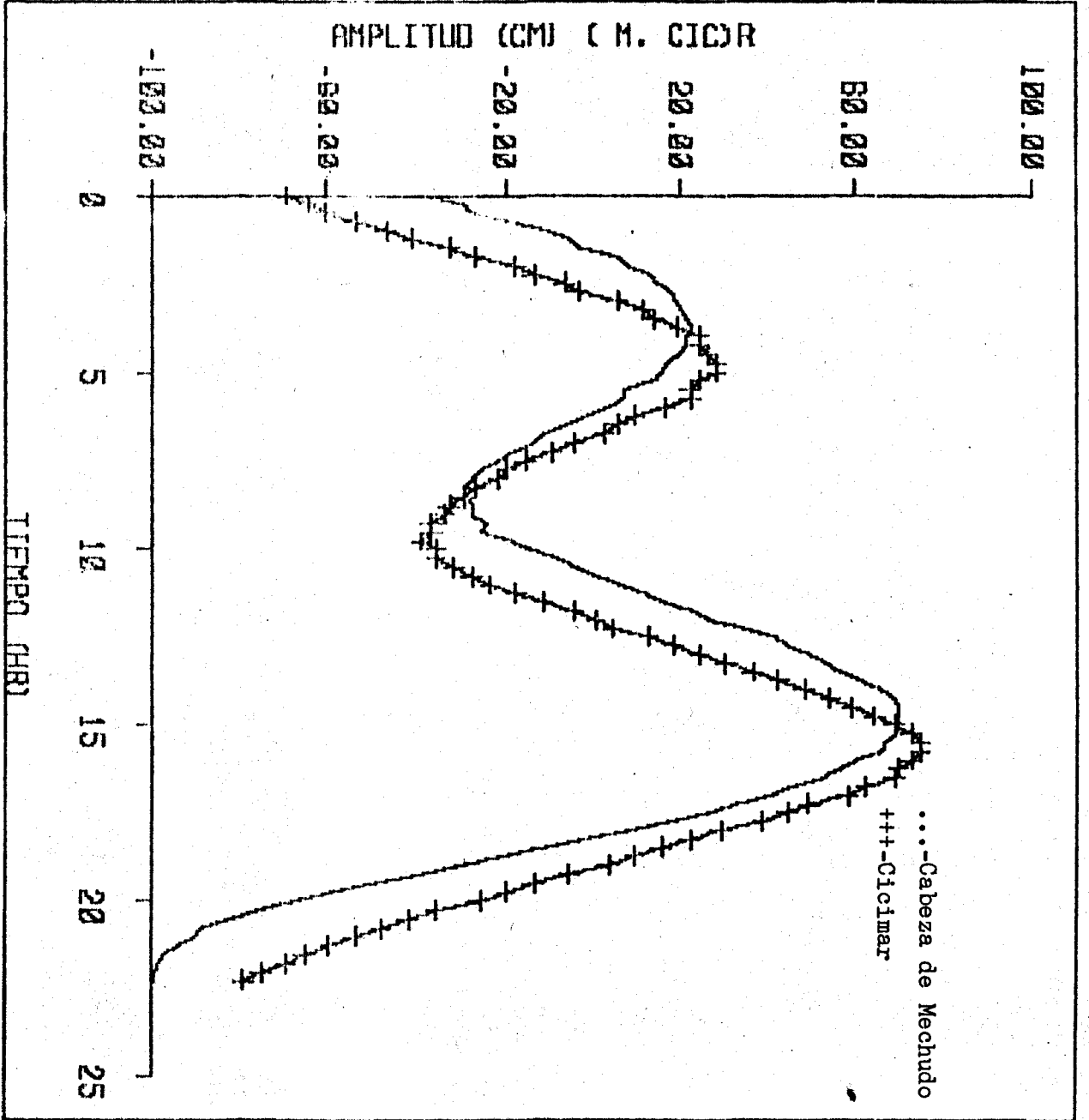
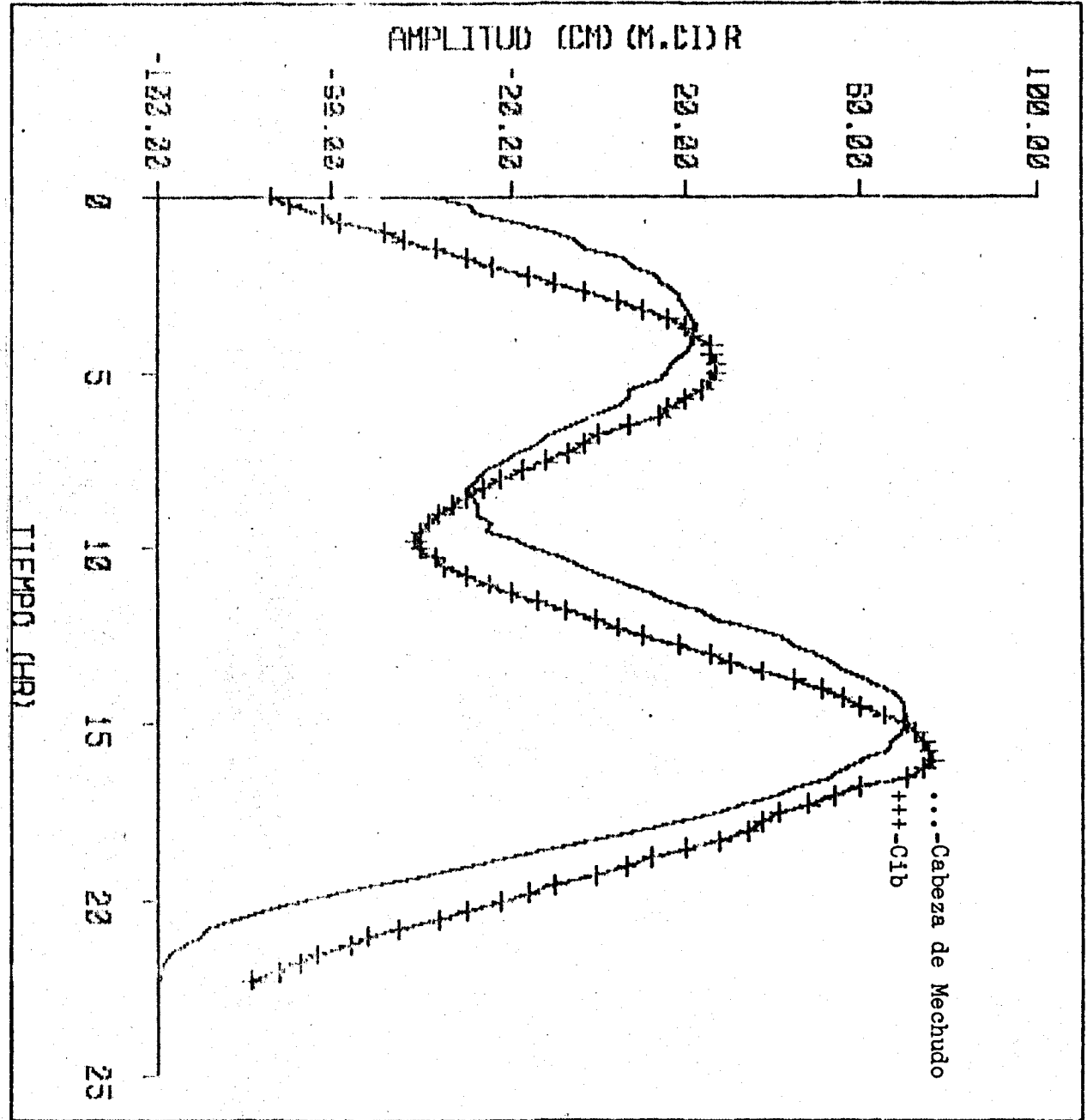


Fig.12.-Comparación con respecto a Cabeza de Mechudo de las alturas de marea registradas en Cicimar durante el 11-12 de noviembre de 1985.



Fig,13.-Comparación con respecto a Cabeza de Mechudo de las alturas de marea registradas en el Cib durante el 11-12 de noviembre de 1985.



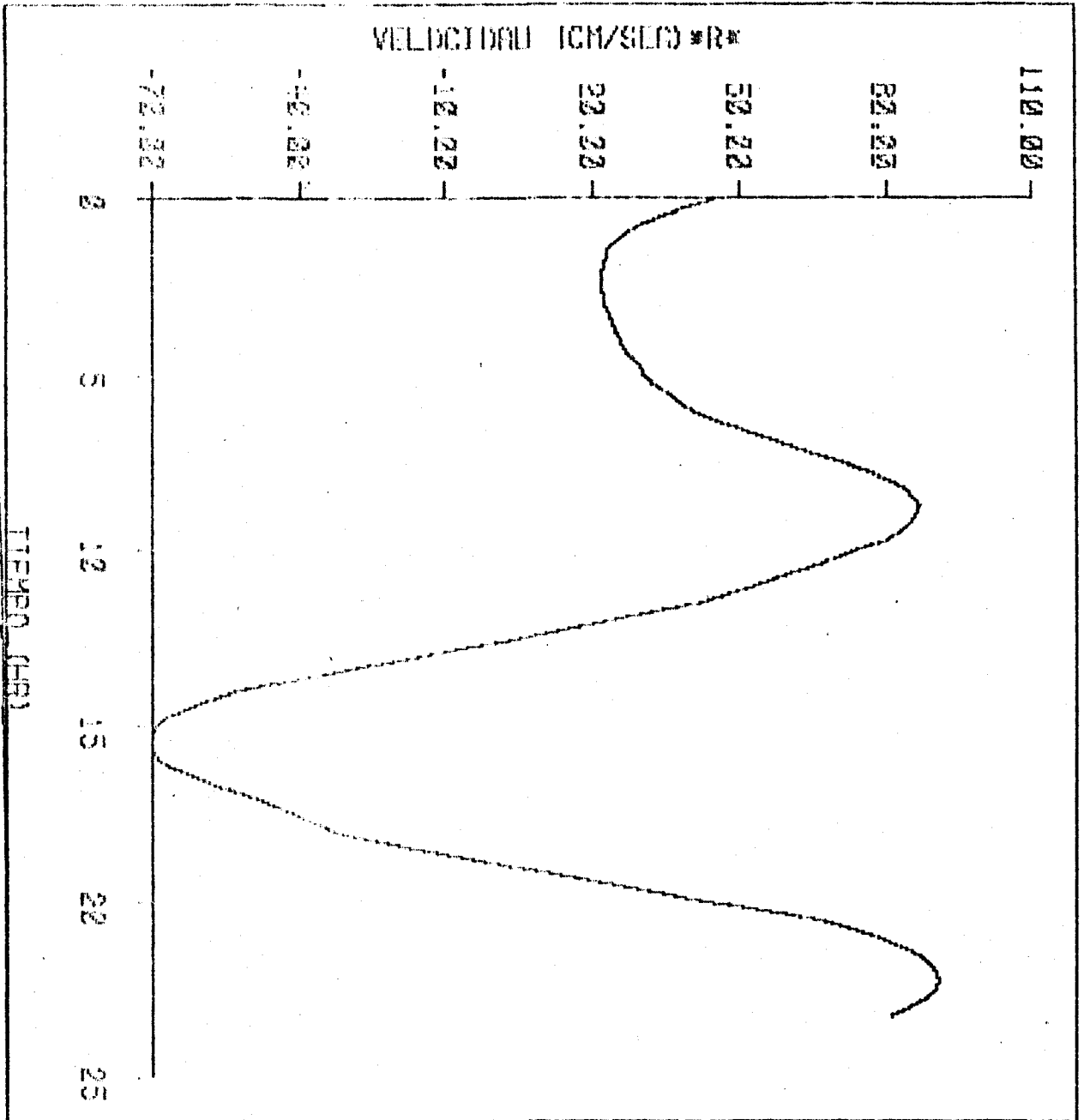


Fig. 14.-Velocidades registradas en Canal de San Lorenzo a 5 metros de profundidad durante el 11-12 de noviembre de 1985.

## 6 RESULTADOS.

Los resultados obtenidos del modelo muestran varias características importantes, las cuales concuerdan con los valores obtenidos en el campo (Figs.15 a 36).

Las variaciones de los parámetros calculados, en conjunto, pueden dar una idea de la circulación general de la Bahía, para lo cual, se analizará comparativamente las características de los diversos comportamientos dinámicos de este cuerpo de agua.

En el primer octavo del período de la M2, se observa una distribución de elevaciones positivas de la superficie libre, los valores máximos se presentan en la costa Sur-Sureste de la Bahía y los valores mínimos en la Ensenada de La Paz (Fig. 37a).

La distribución de velocidades correspondiente (Fig.38a), muestra valores máximos en la Ensenada de La Paz, en Canal de San Lorenzo y en la parte Norte de Isla Partida con corrientes de flujo, en el resto de la Bahía las corrientes son aproximadamente de igual magnitud.

La distribución de transporte (Fig. 39a), es semejante a la distribución de velocidades, los valores mínimos se presentan en la Ensenada de La Paz y los valores máximos en la parte central de la Bahía.

En el segundo octavo del período de la M2, se observa una distribución de elevaciones positivas de la superficie libre, los valores máximos se presentan en la Ensenada de La Paz y los valores mínimos en la frontera abierta al Golfo de California (Fig.37b).

La distribución de velocidades correspondientes (Fig.38b), muestra que mientras la Bahía ya se ha llenado, la Ensenada de La Paz continúa llenándose. Se inicia el proceso de vaciado por Canal de San Lorenzo y por la parte Norte de la Bahía en donde se tiene un giro de refluo en sentido de las manecillas del reloj. Las velocidades máximas de flujo y de refluo se tienen en la Ensenada de La Paz y en Canal de San Lorenzo respectivamente.

La distribución de transporte (Fig. 39b), es semejante a la distribución de velocidades, los valores máximos se presentan en el giro de refluo en la parte Norte de la Bahía.

En el tercer octavo del período de la M2, se observa una

distribución de elevaciones positivas de la superficie libre, los valores máximos y mínimos se presentan en la Ensenada de la Paz y en la frontera abierta al Golfo de California respectivamente (Fig. 37c).

La distribución de velocidades correspondientes (Fig. 38c) muestra que la Bahía se está vaciando. Las velocidades máximas de reflujo se tienen en la Ensenada de La Paz y en Canal de San Lorenzo.

La distribución de transporte (Fig. 39c), es semejante a la distribución de velocidades, los valores máximos se presentan en la parte central de la Bahía.

A la mitad del período de la M2, se observa una distribución de elevaciones negativas de la superficie libre en la parte Oeste y Noroeste de la Bahía; las elevaciones se incrementan hasta hacerse positivas, presentándose el máximo en la Ensenada de La Paz (Fig. 37d).

La distribución de velocidades correspondientes (Fig. 38d), muestra a la Bahía vaciándose y las corrientes máximas de reflujo se tienen en el Canal de San Lorenzo y en la Ensenada de La Paz.

La distribución de transporte (Fig. 39d), es semejante a la distribución de velocidades, los valores máximos se presentan en la parte más profunda de la Bahía y los valores mínimos en las partes más someras.

En el quinto octavo del período de la M2, se observa una distribución de elevaciones negativas de la superficie libre, los valores máximos se presentan en la Ensenada de La Paz y los valores mínimos en la costa Sur de la Bahía (Fig. 37e).

La distribución de velocidades correspondiente (Fig. 38e), muestra que la Bahía continúa vaciándose y las corrientes máximas de reflujo se tienen en Canal de San Lorenzo y en la Ensenada de La Paz.

La distribución de transporte (Fig. 39e), es semejante a la distribución de velocidades, los valores mínimos y máximos se presentan en las partes más someras y en las partes más profundas de la Bahía.

En el sexto octavo del período de la M2, se observa una distribución de elevaciones negativas de la superficie libre, los valores máximos se presentan en la frontera abierta al Golfo de California y los valores mínimos en la Ensenada de La Paz (Fig. 37f).

La distribución de velocidades correspondiente (Fig. 38f) , muestra que la Ensenada de La Paz continúa vaciándose, mientras que en la Bahía se ha iniciado el proceso de llenado por Canal de San Lorenzo y por la parte Norte , donde se tiene un giro del flujo en sentido contrario de las manecillas del reloj. Las velocidades máximas de reflujó y de flujo se tienen en la Ensenada de La Paz y en Canal de San Lorenzo respectivamente.

La distribución de transporte (Fig. 39f), es semejante a la distribución de velocidades, los valores máximos se presentan en el giro del flujo en la parte Norte de la Bahía.

En el skptimo octavo del período de la M2, se observa una distribución de elevaciones negativas de la superficie libre, los valores máximos se presentan en la frontera abierta al Golfo de California y los valores mínimos en la Ensenada de La Paz (Fig. 37g).

La distribución de velocidades correspondientes (Fig. 38g) muestra que la Bahía se está llenando. Las velocidades máxima; de flujo se tienen en la Ensenada de La Paz y en Canal de San Lorenzo.

La distribución de transporte (Fig. 39g), es semejante a la distribución de velocidades, los valores máximos se presentan en las partes más profundas de la Bahía.

Al final del periodo de la M2, se observa una distribución de elevaciones positivas de la superficie libre en la parte Oeste y Noroeste de la Bahía; las elevaciones disminuyen hasta hacerse negativas, presentándose el máximo en la Ensenada de La Paz (Fig. 37h).

La distribución de velocidades correspondientes (Fig. 38h), muestra a la Bahía llenándose y las corrientes máximas de flujo se tienen en el Canal de San Lorenzo y en la Ensenada de La Paz.

La distribución de transporte (Fig. 39h), es semejante a la distribución de velocidades, los valores máximos y mínimos se presentan en las partes más profundas y en las partes más someras respectivamente.

La distribución de elevaciones máximas (Fig. 40) , muestra elevaciones positivas, presentándose los valores mínimo5 en al frontera abierta al Golfo de California y los valores máximos en la Ensenada de La Paz.

La distribución de retrasos de la pleamar (Fig. 41), muestra que la parte profunda de la Bahía responde en fase con respecto a la frontera abierta al Golfo de California. Conforme la onda de

mareas viaja en las zonas someras es frenada, presentándose el máximo retraso en la Ensenada de La Paz.

La distribución de transporte residual (Fig. 42), muestra que al final del período de la constituyente M2 la Bahía estará vaciándose por Canal de San Lorenzo y por la parte norte, con dos giro del flujo bien definidos, uno en la parte central a la altura de Isla Partida en sentido contrario a las manecillas del reloj y el otro en la Ensenada de La Paz en sentido de las manecillas del reloj.

COMPARACION DE LAS ALTURAS DE LA COMPONENTE M2, OBTENIDAS DE LOS  
REGISTROS DE CANAL DE SAN LORENZO, SAN JUAN DE LA COSTA, QUELELE,  
MUELLE FISCAL, CXCIMAR Y CIB; RESPECTO A CABEZA DE MECHUDO. DURANTE  
NOVIEMBRE DE 1985

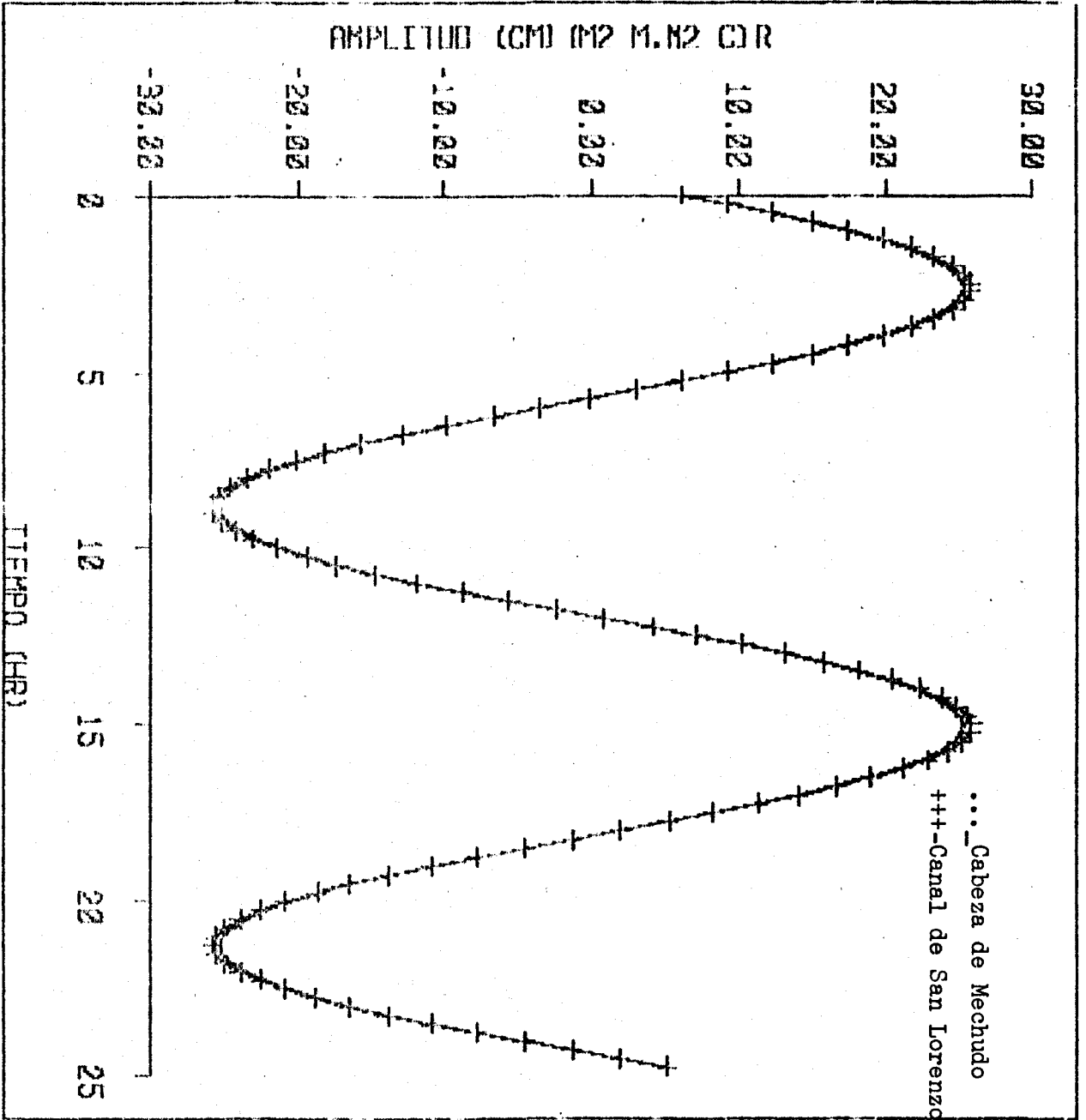


Fig.15.-Alturas de la componente M2 de la marea en Cabeza de Mechudo y Canal de San Lorenzo, obtenidas del registro del 11-12 de noviembre de 1985.

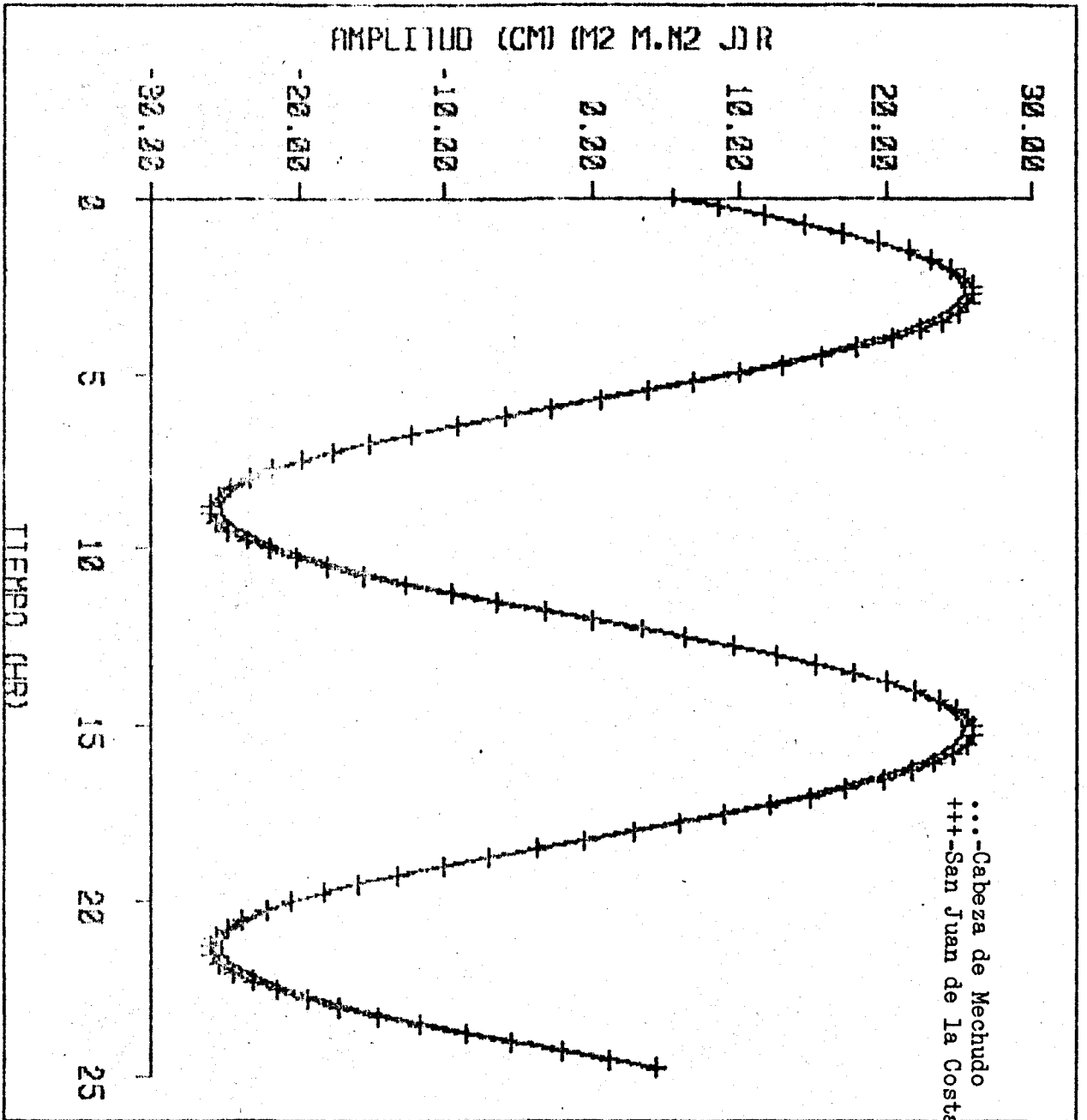


Fig.16.-Alturas de la componente M2 de la marea en Cabeza de Mechudo y San Juan de la Costa, obtenidas del registro del 11-12 de noviembre de 1985.



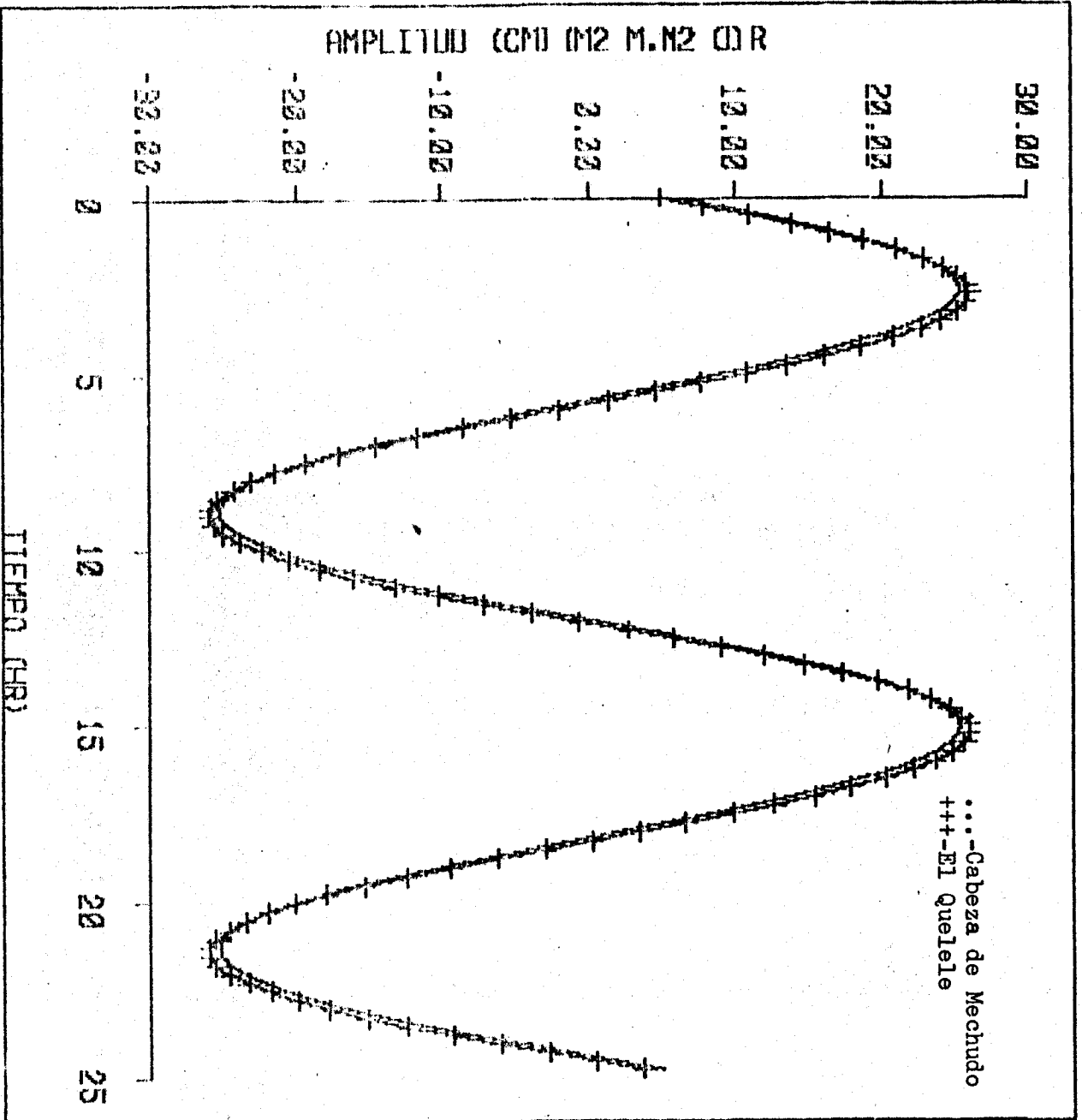


Fig.17.-Alturas de la componente M2 de la marea en Cabeza de Mechudo y el Quelele, obtenidas del registro del 11-12 de noviembre de 1985.

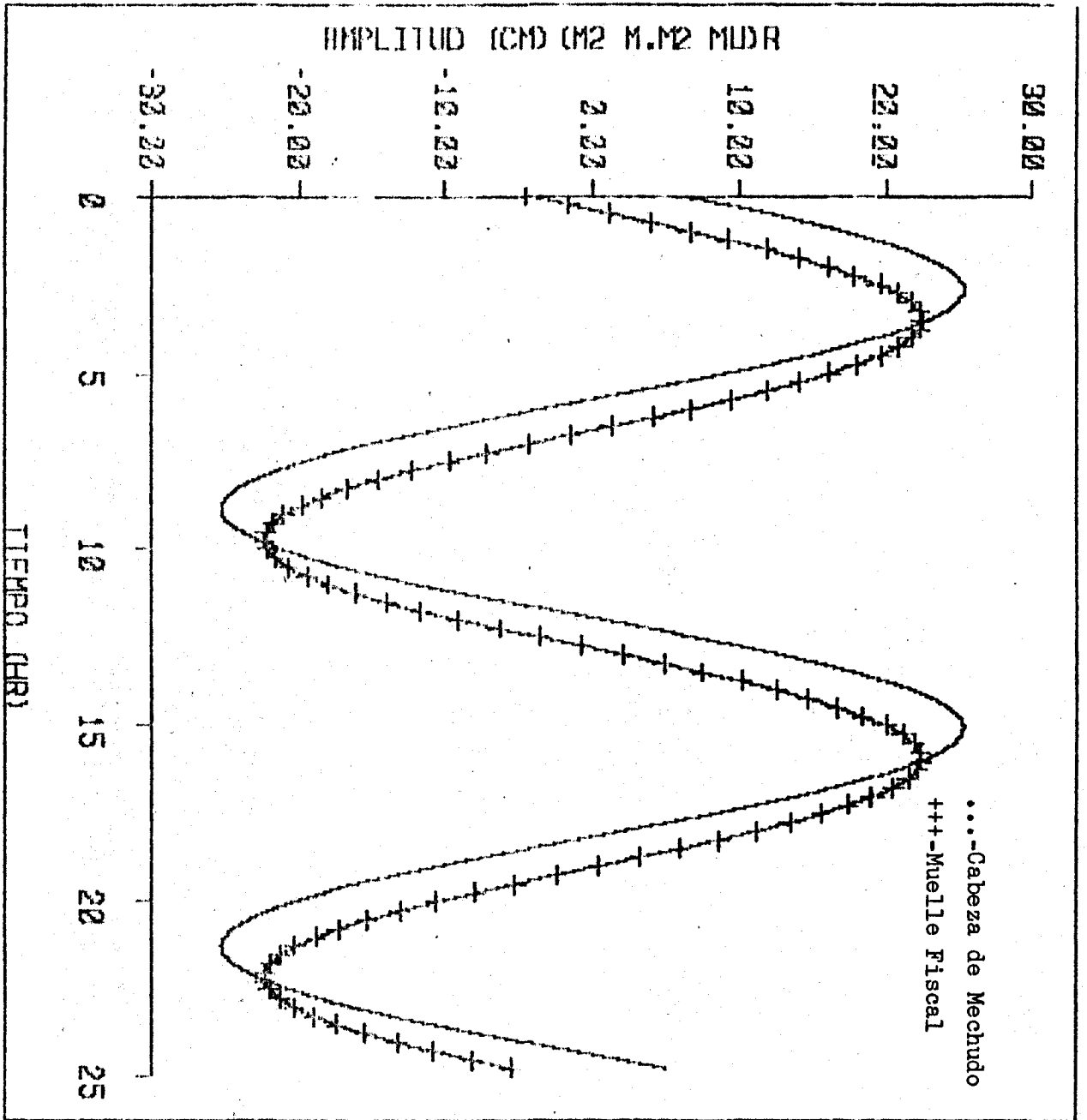


Fig.18.-Alturas de la componente M2 de la Marea en Cabeza de Mechudo y el Muelle Fiscal, obtenidas del registro del 11-12 de noviembre de 1985.

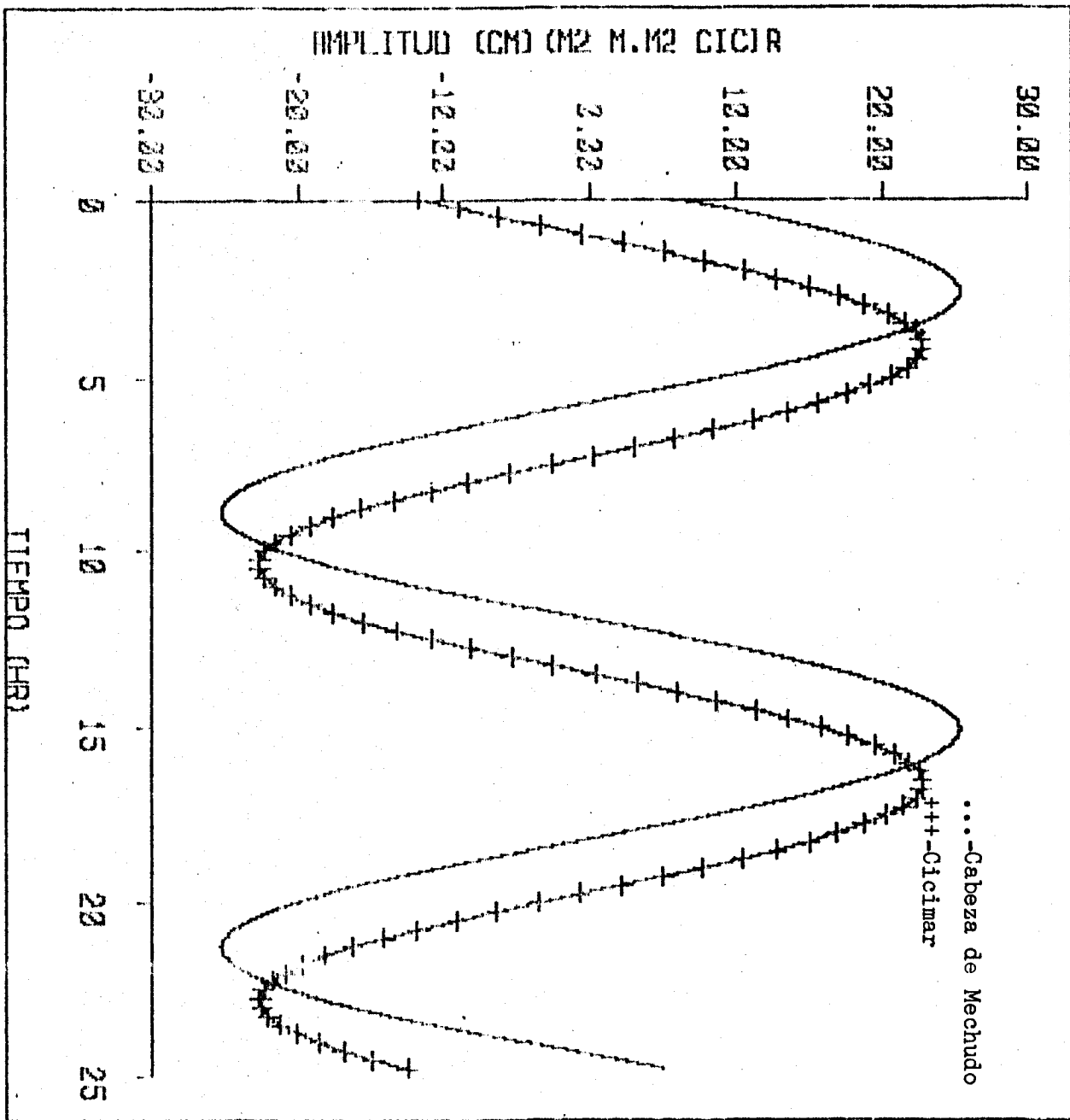


Fig.19.-Alturas de la componente M2 de la marea en Cabeza de Mechudo y el Cicimar, obtenidas del registro del 11-12 de noviembre de 1985.

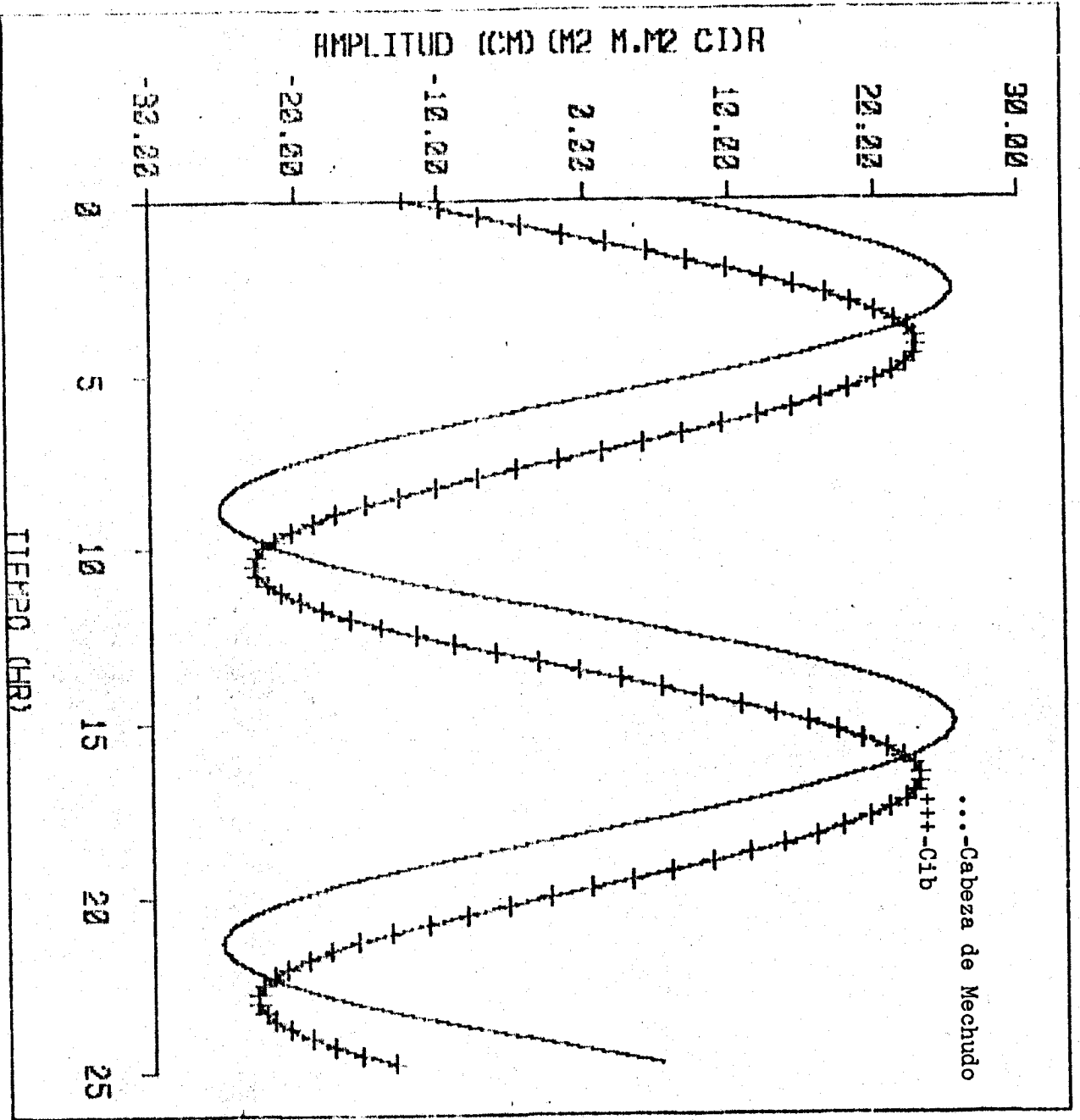


Fig.20.-Alturas de la componente M2 de la marea en Cabeza de Mechudo y el C1b, obtenidas del registro del 11-12 de noviembre de 1985.

COMPARACION DE LAS ALTURAS DE LA COMPONENTE M2 SIMULADA DE CANAL  
DE SAN LORENZO, SAN JUAN DE LA COSTA, QUELELE, MUELLE FISCAL,  
CICIMAR Y CIB; RESPECTO A CABEZA DE MECHUDO

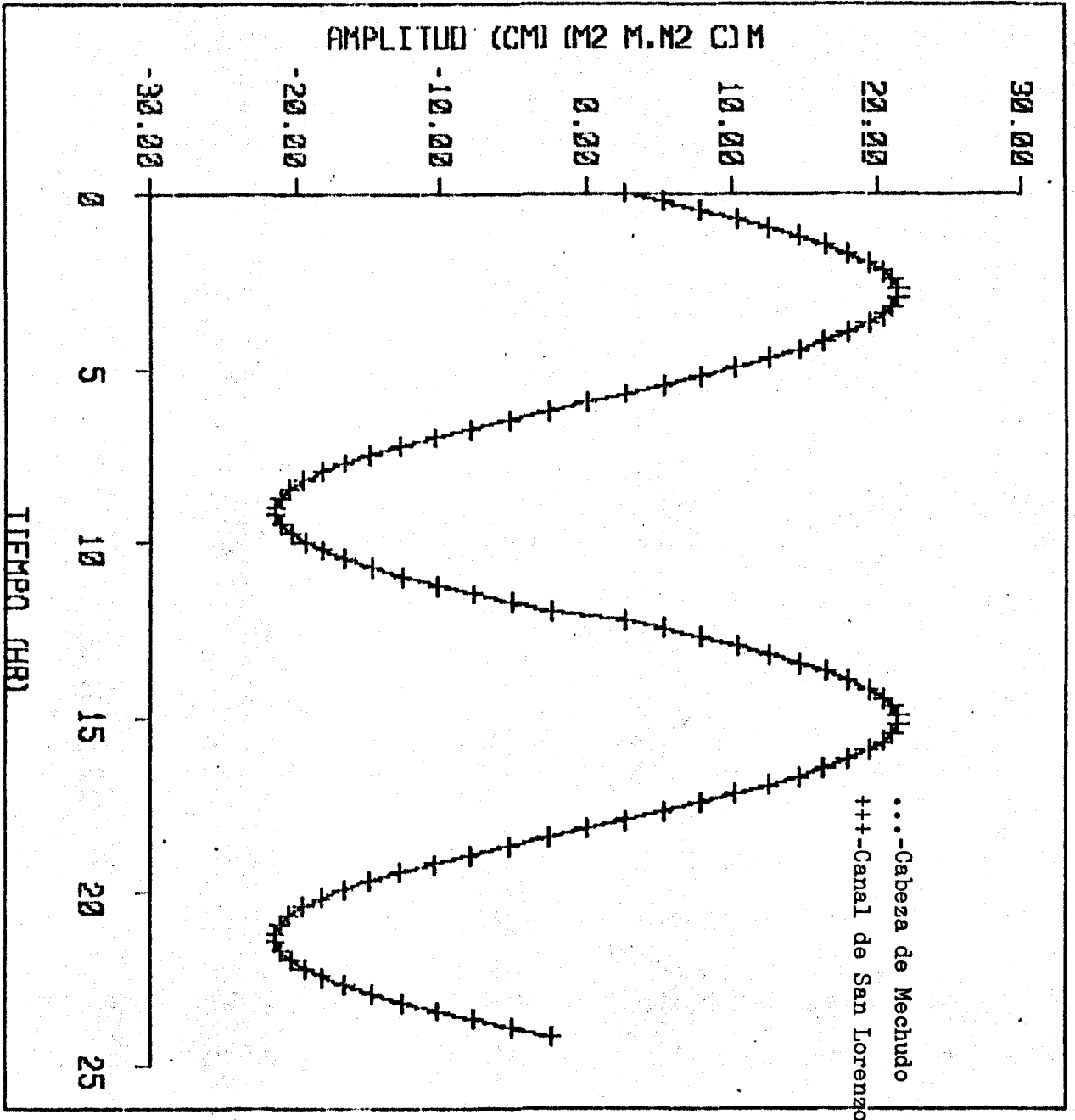


Fig.21.-Ajusturas simuladas de la componente M2 de la marea en Cabeza de Mechudo y Canal de San Lorenzo.

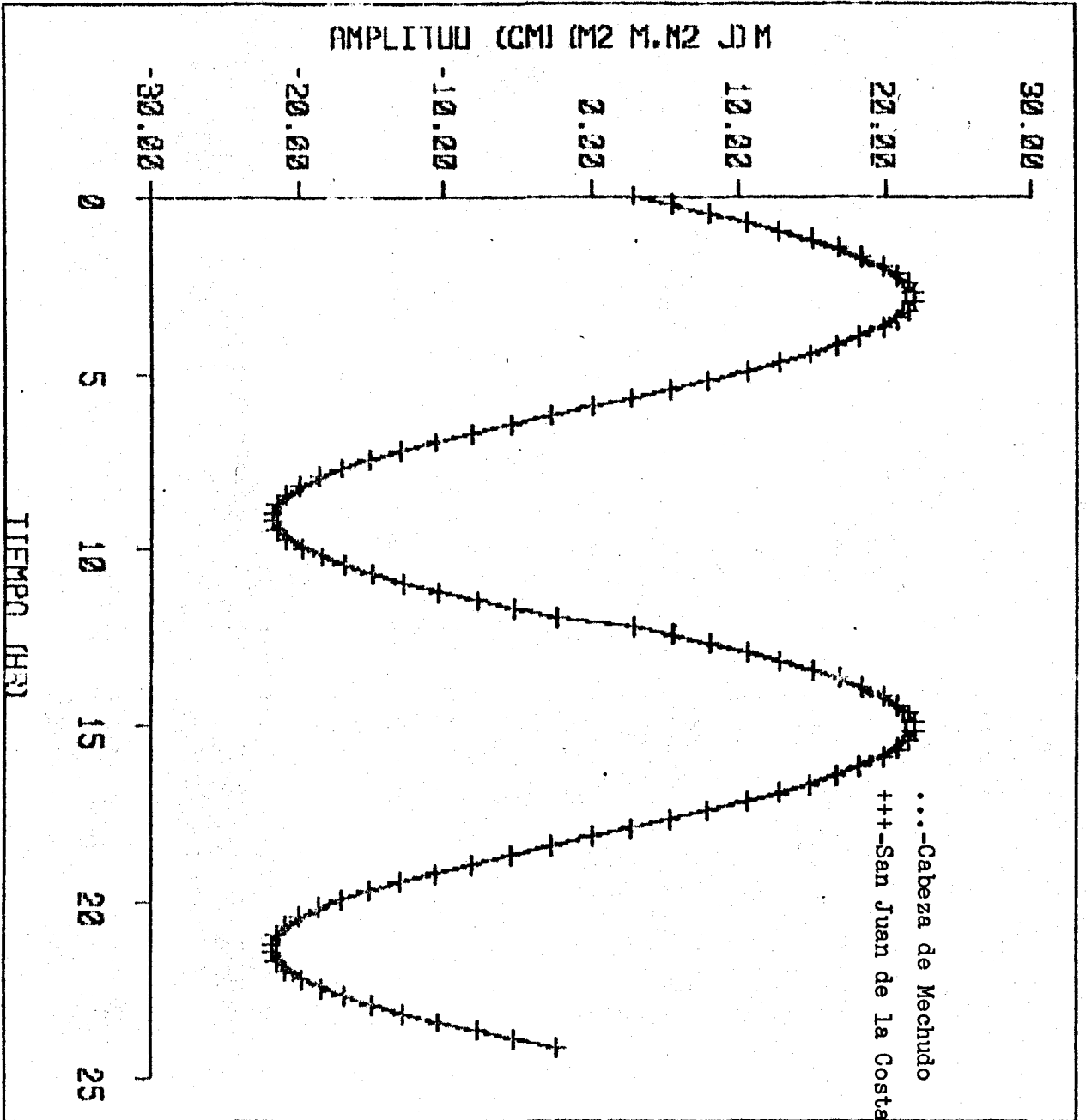


Fig.22.-Alturas simuladas de la componente M2 de la marea en Cabeza de Mechudo y San Juan de La Costa.

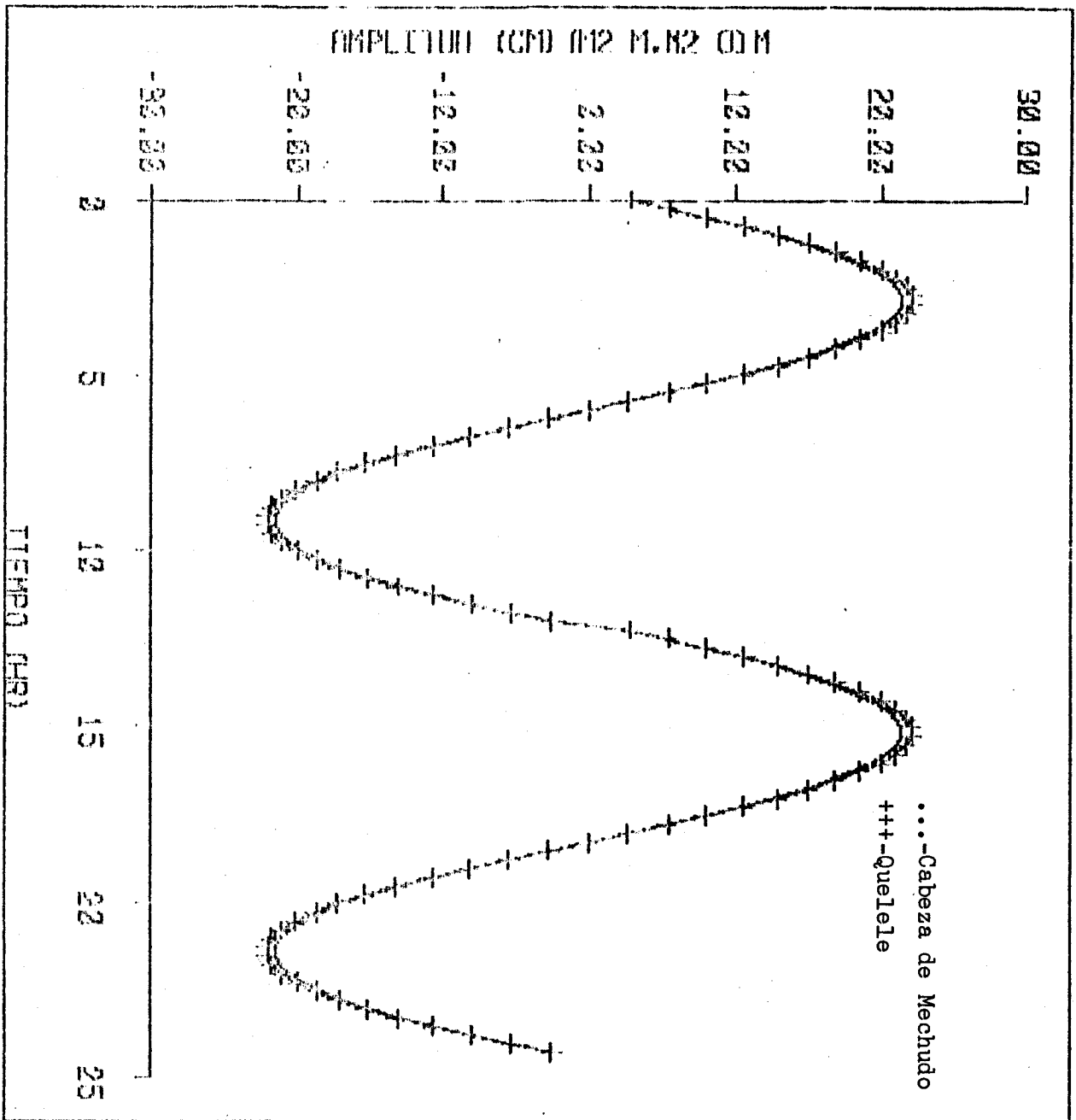


Fig.23.-Alturas simuladas de la componente M2 de la marea en Cabeza de Mechudo y el Quelele.



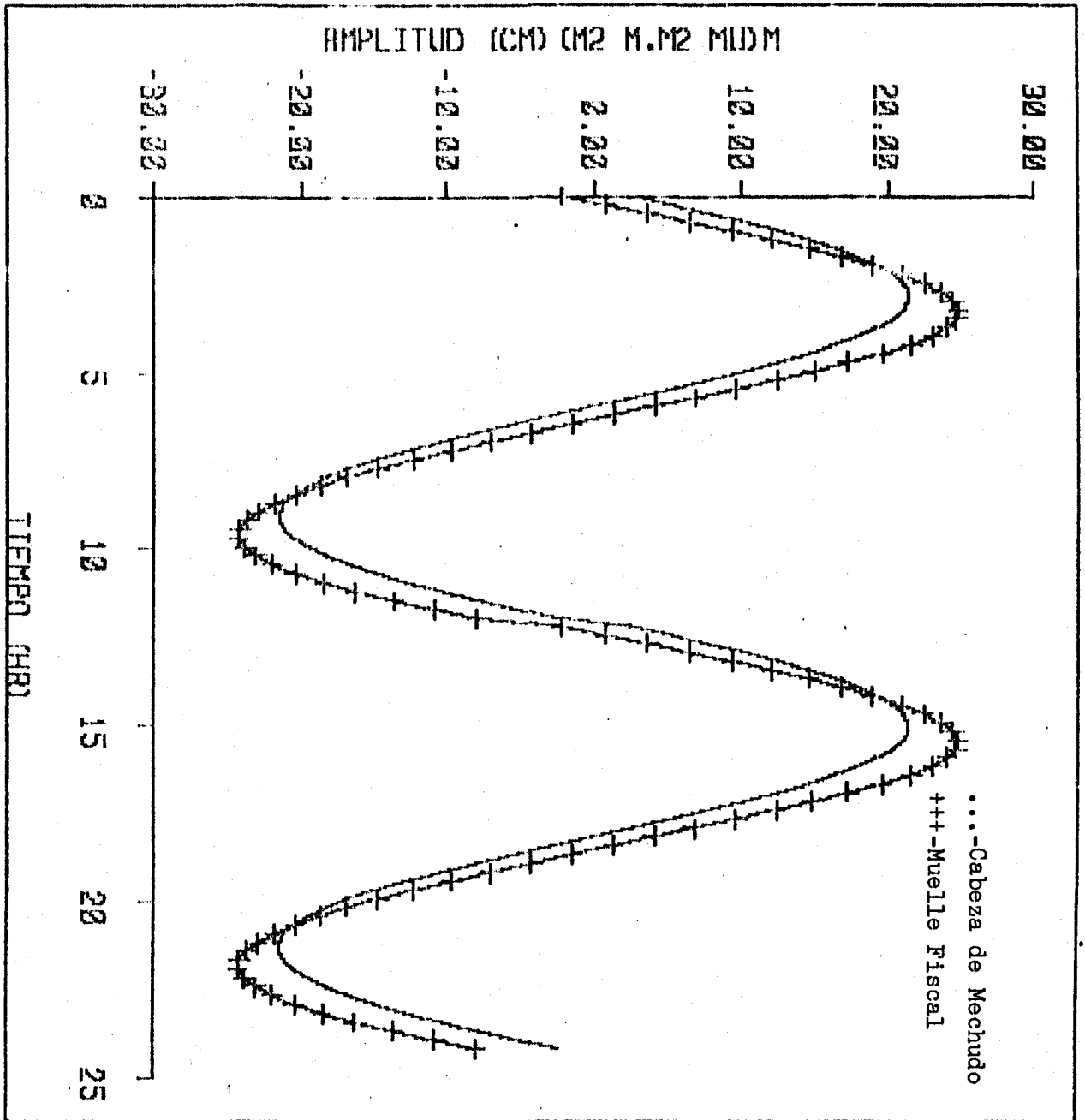


Fig.24.-Alturas simuladas de la componente M2 de la marea en Cabeza de Mechudo y el Muelle Fiscal.

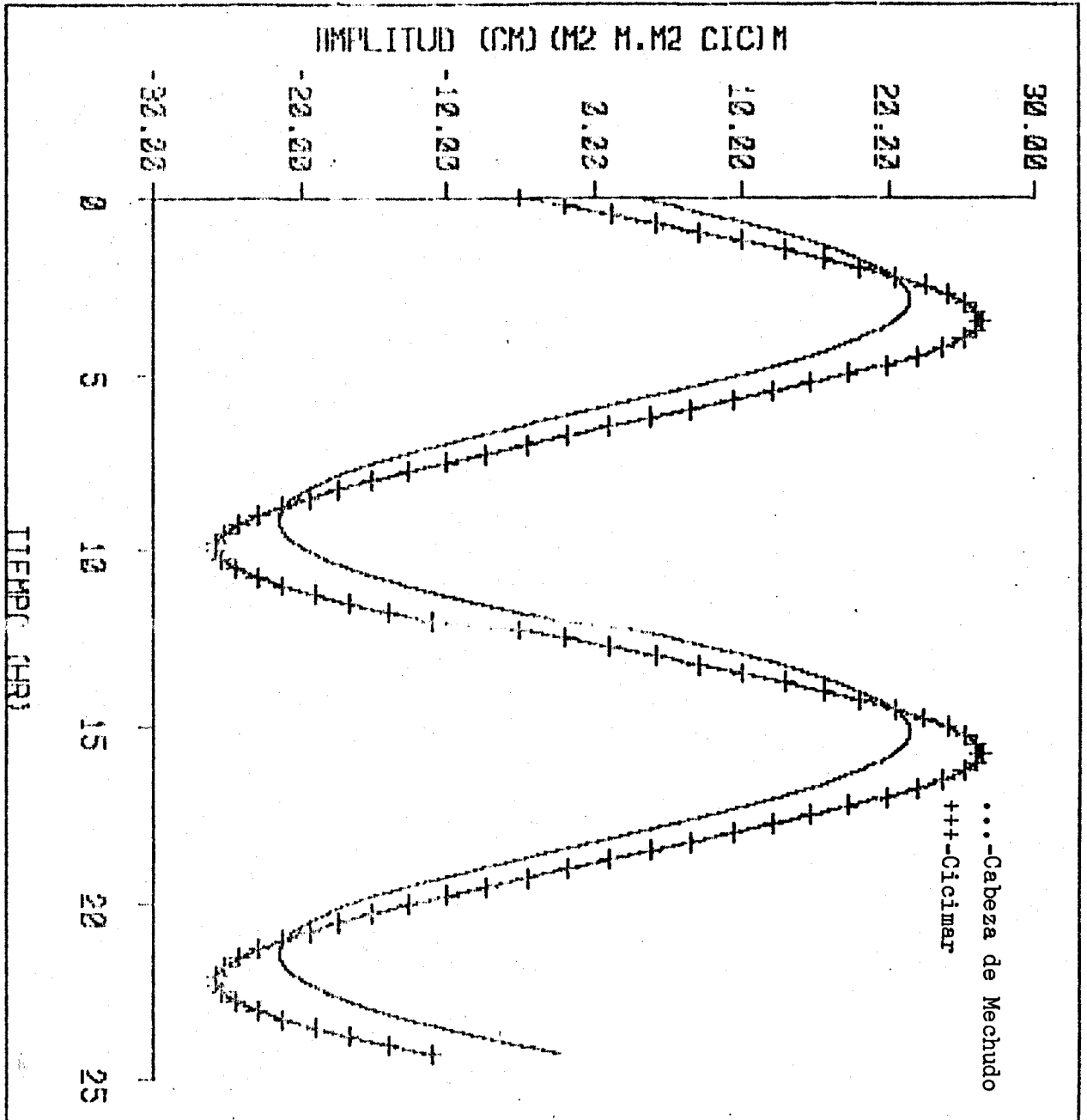


Fig.25.-Alturas simuladas de la componente M2 de la marea en Cabeza de Mechudo y el Cicimar.

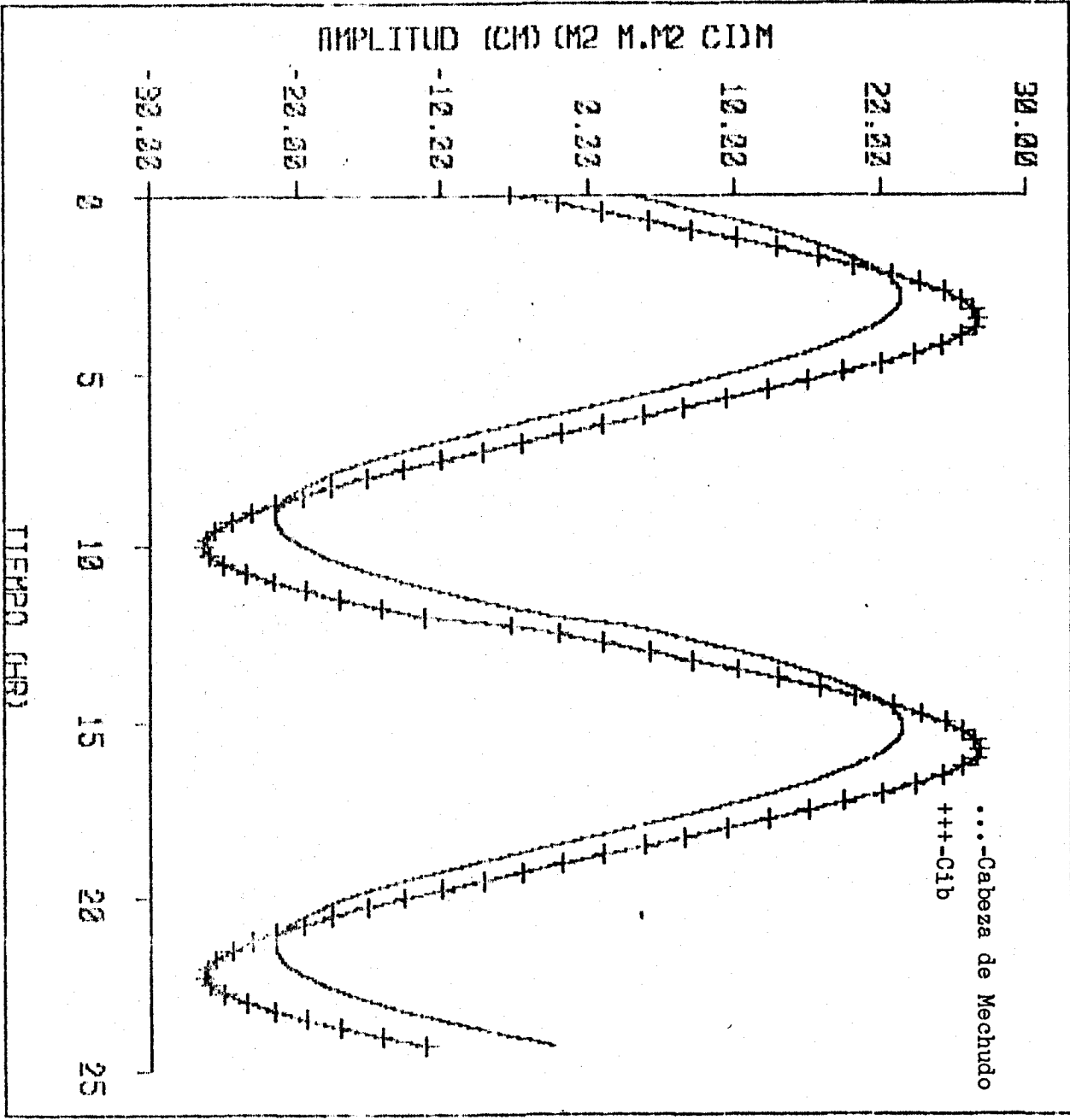


Fig.26.-Alturas simuladas de la componente M2 de la marea en Cabeza de Mechudo y el C1b.

COMPARACION DE LAS ALTURAS DE LA COMPONENTE M<sub>2</sub> OBTENIDAS DEL  
REGISTRO DE NOVIEMBRE DE 1985 Y LAS SIMULADAS EN CABEZA DE  
MECHUDO, CANAL DE SAN LORENZO, SAN JUAN DE LA COSTA, QUELELE,  
MUELLE FISCAL, CICIMAR Y CIB

CENTRO DE ESTUDIOS DEPLINARIO DE  
 CIENCIAS  
 BILBAO  
 I.P.N.  
 DONATIVO

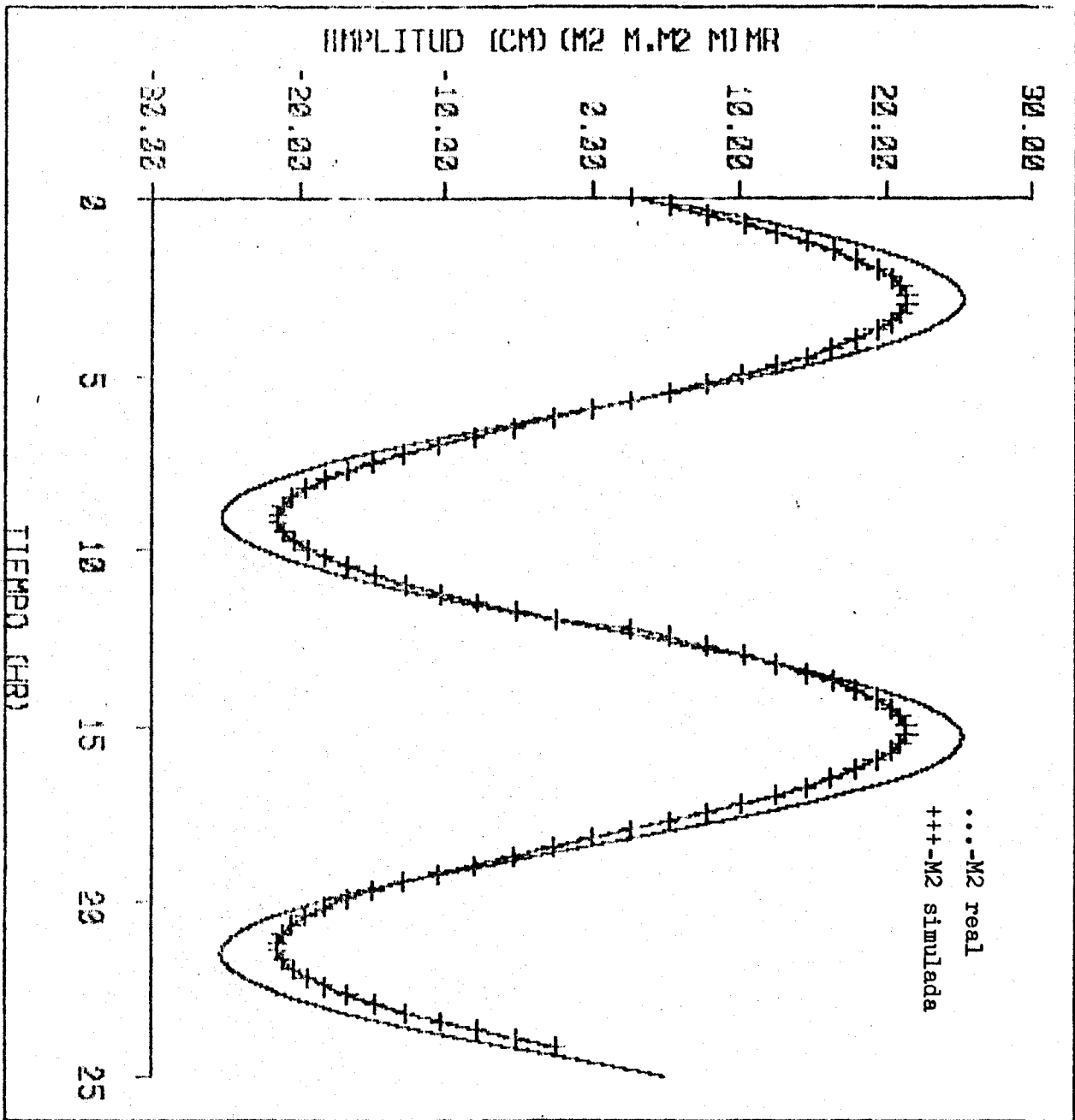


Fig.27.-Comparación de las alturas simuladas de la componente M2 de la marea y las obtenidas del registro en Cabeza de Mechnudo del 11-12 de noviembre de 1985.

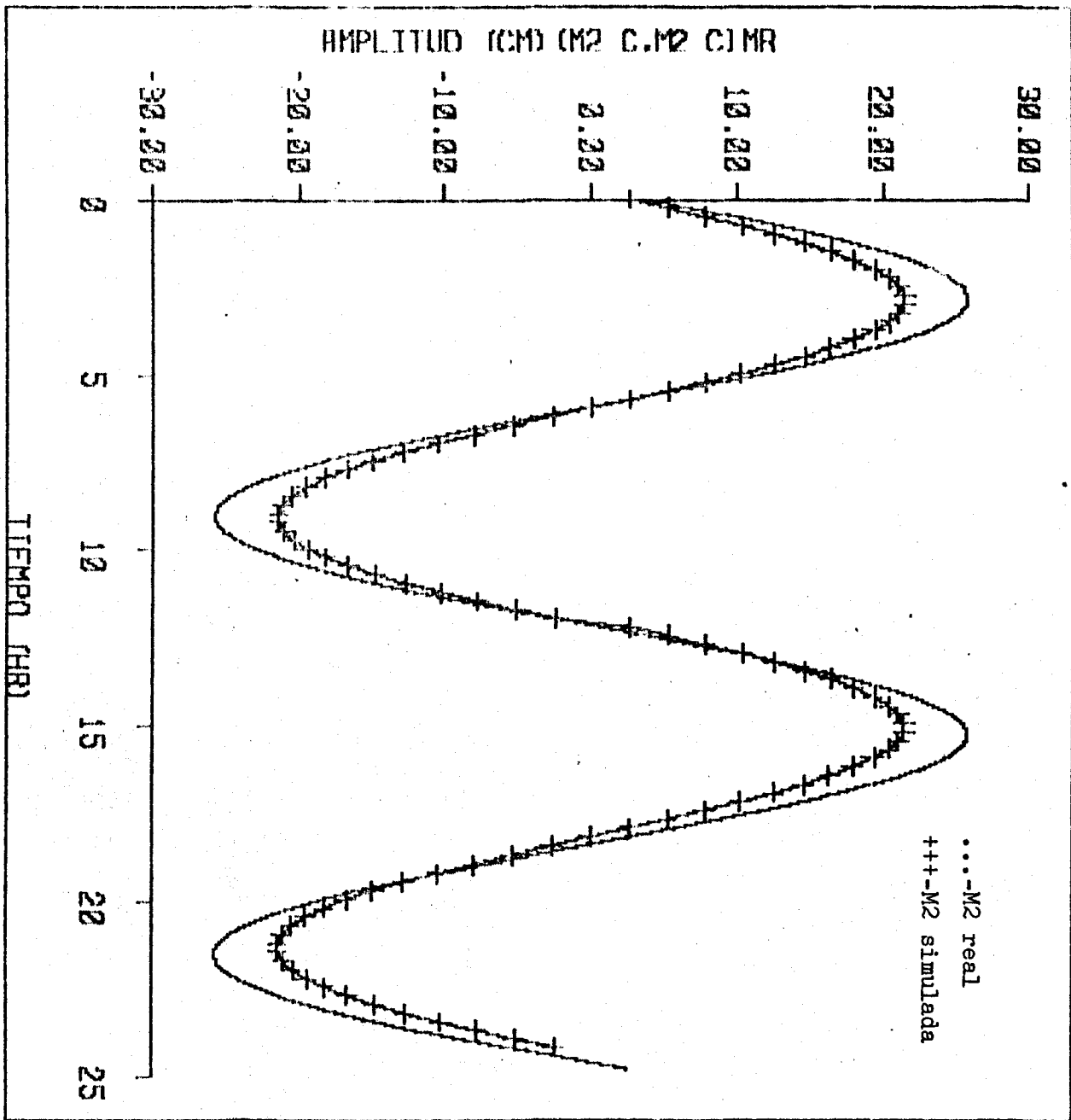


Fig.28.-Comparación de las alturas simuladas de la componente M2 de la marea y las obtenidas del registro en Canal de San Lorenzo del 11-12 de noviembre de 1985.

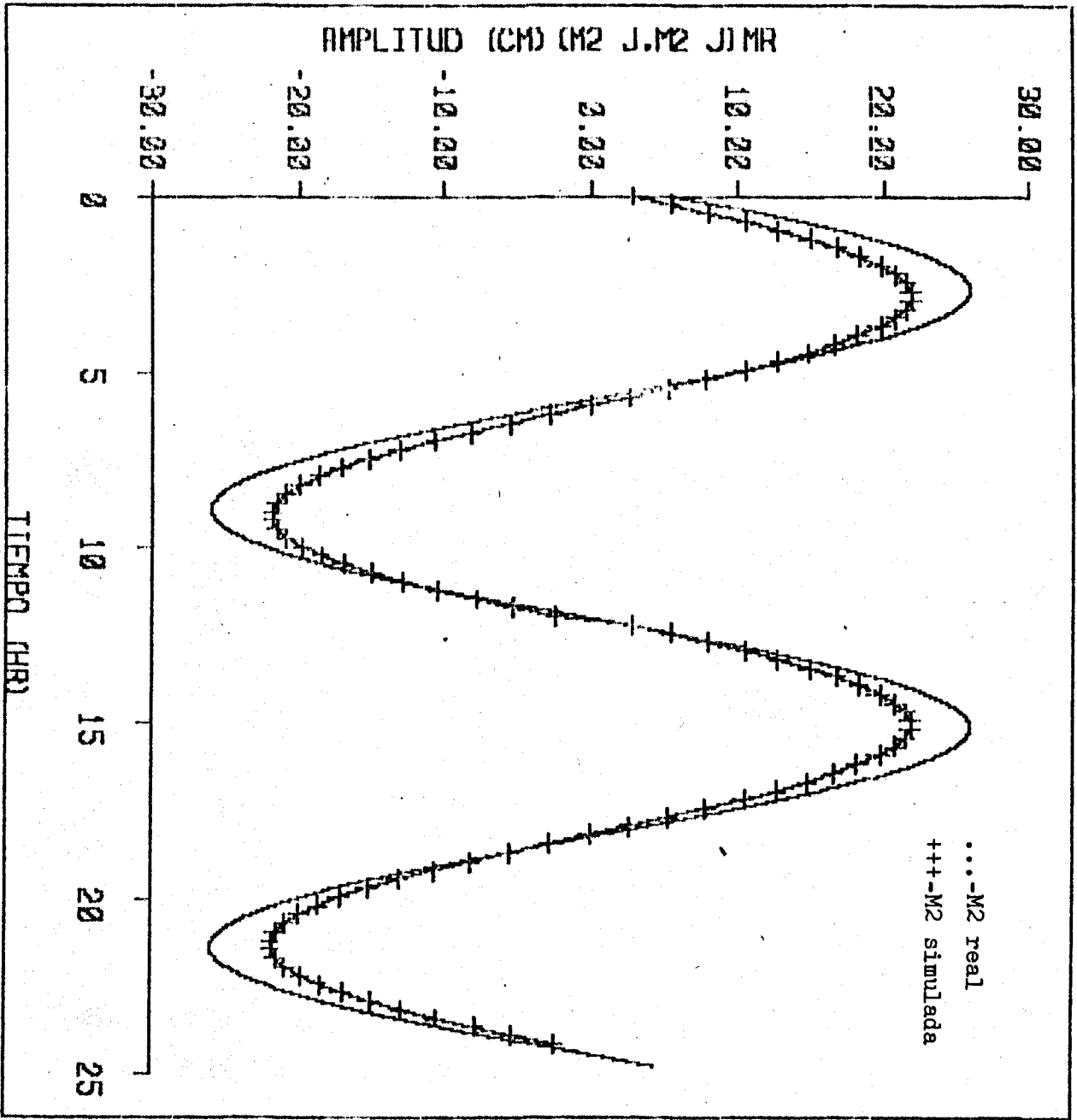


Fig.29.-Comparación de las alturas simuladas de la componente M2 de la marea y las obtenidas del registro en San Juan de la Costa del 11-12 de noviembre de 1985.

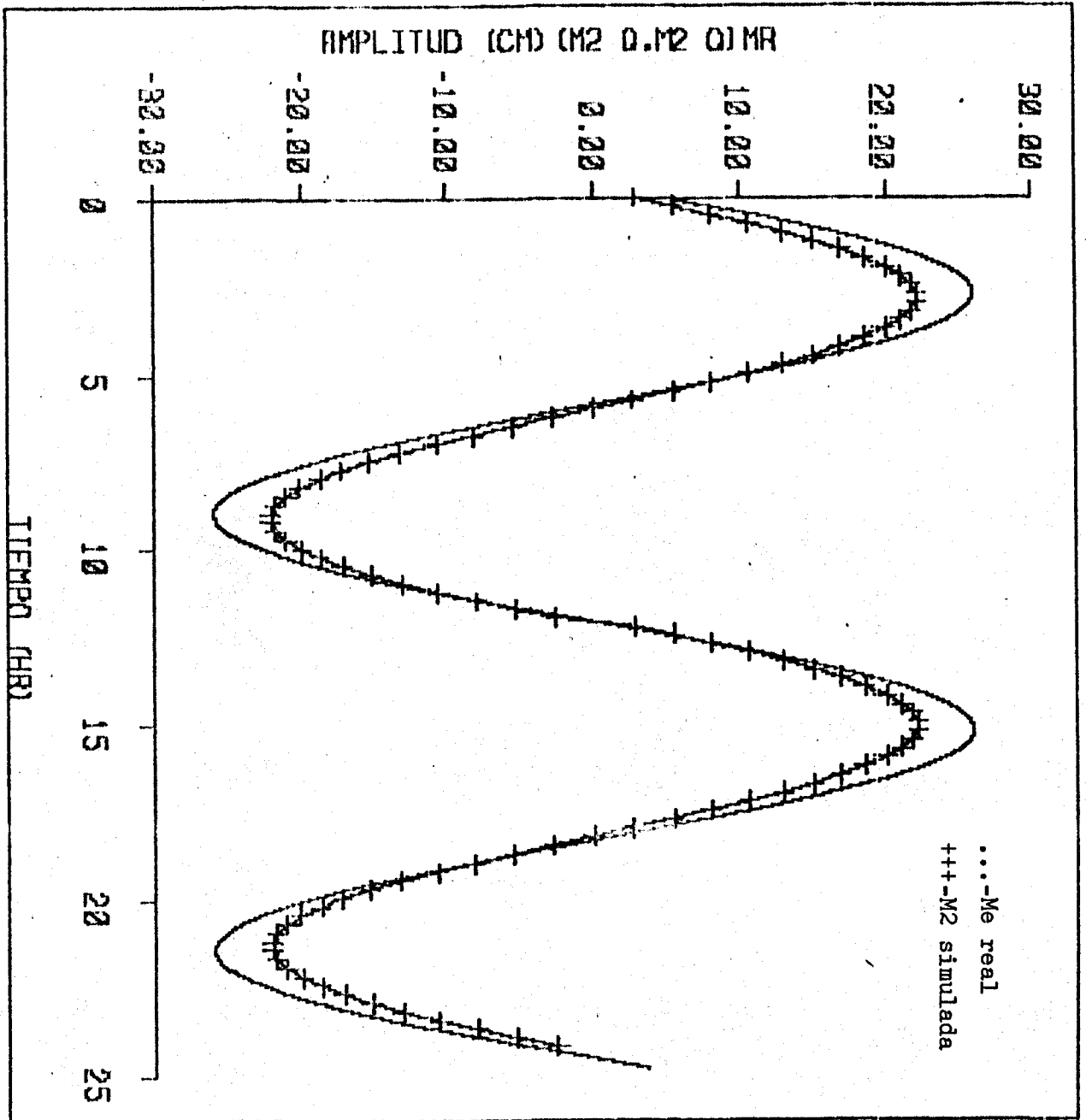


Fig.30.-Comparación de las alturas simuladas de la componente M2 de la marea, y las obtenidas del registro en el Quelele del 11-12 de noviembre de 1985.



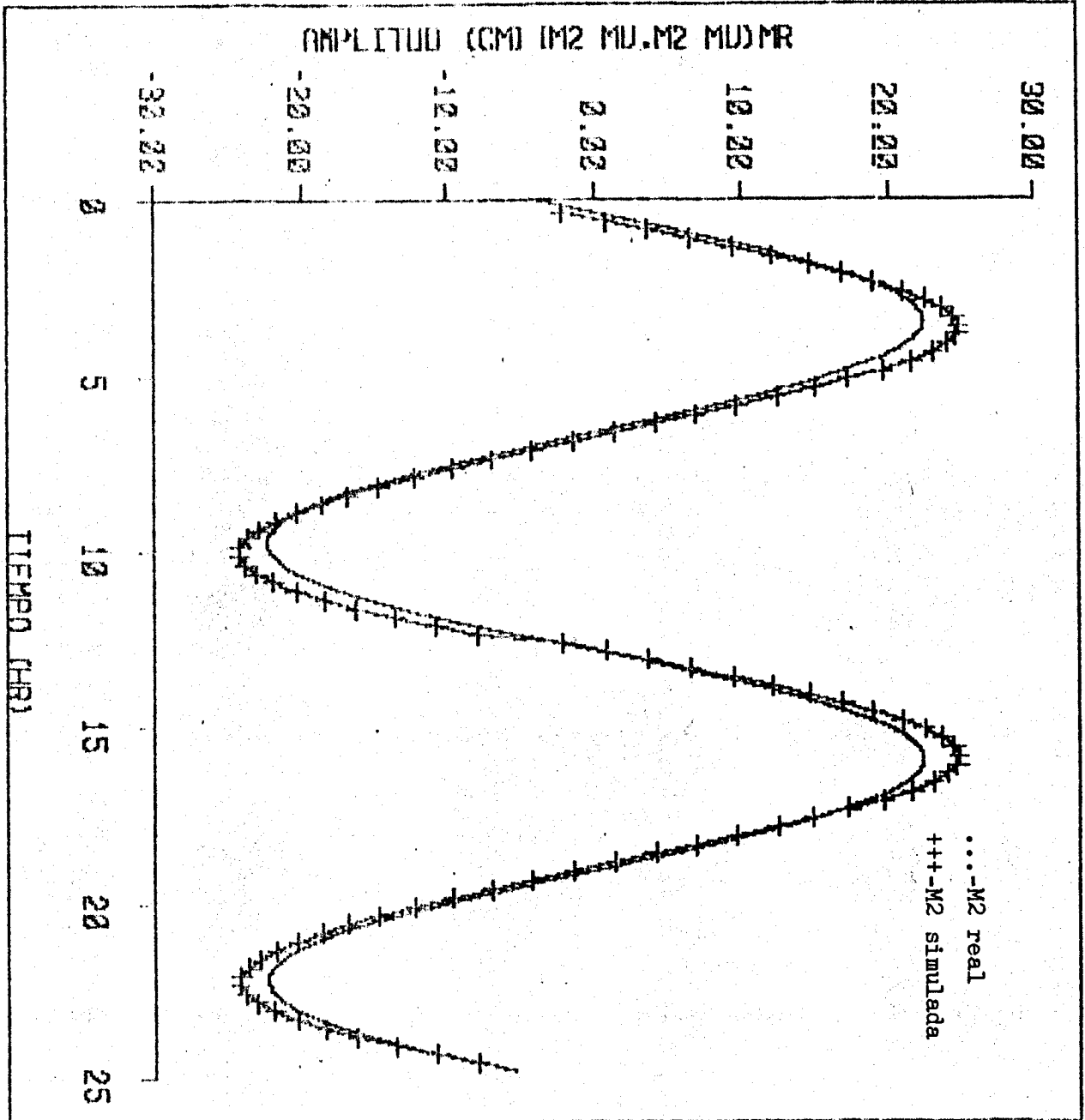


Fig.31.-Comparación de las alturas simuladas de la componente M2 de la marea y las obtenidas del registro en el Muelle Fiscal del 11-12 de noviembre de 1985.

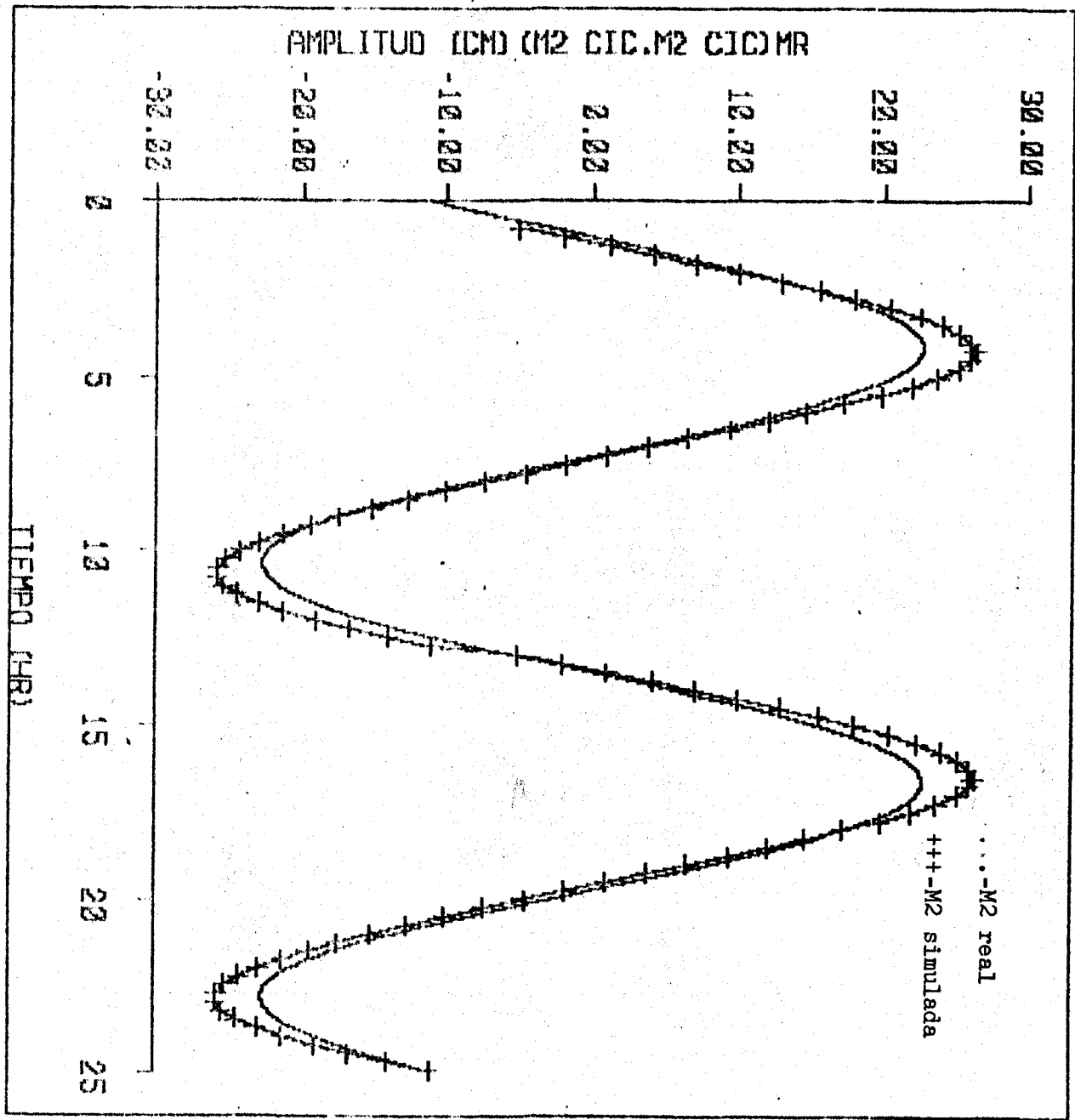


Fig. 32.-Comparación de las alturas simuladas de la componente M2 de la marea y las obtenidas del registro en Cicimar del 11-12 de noviembre de 1985.

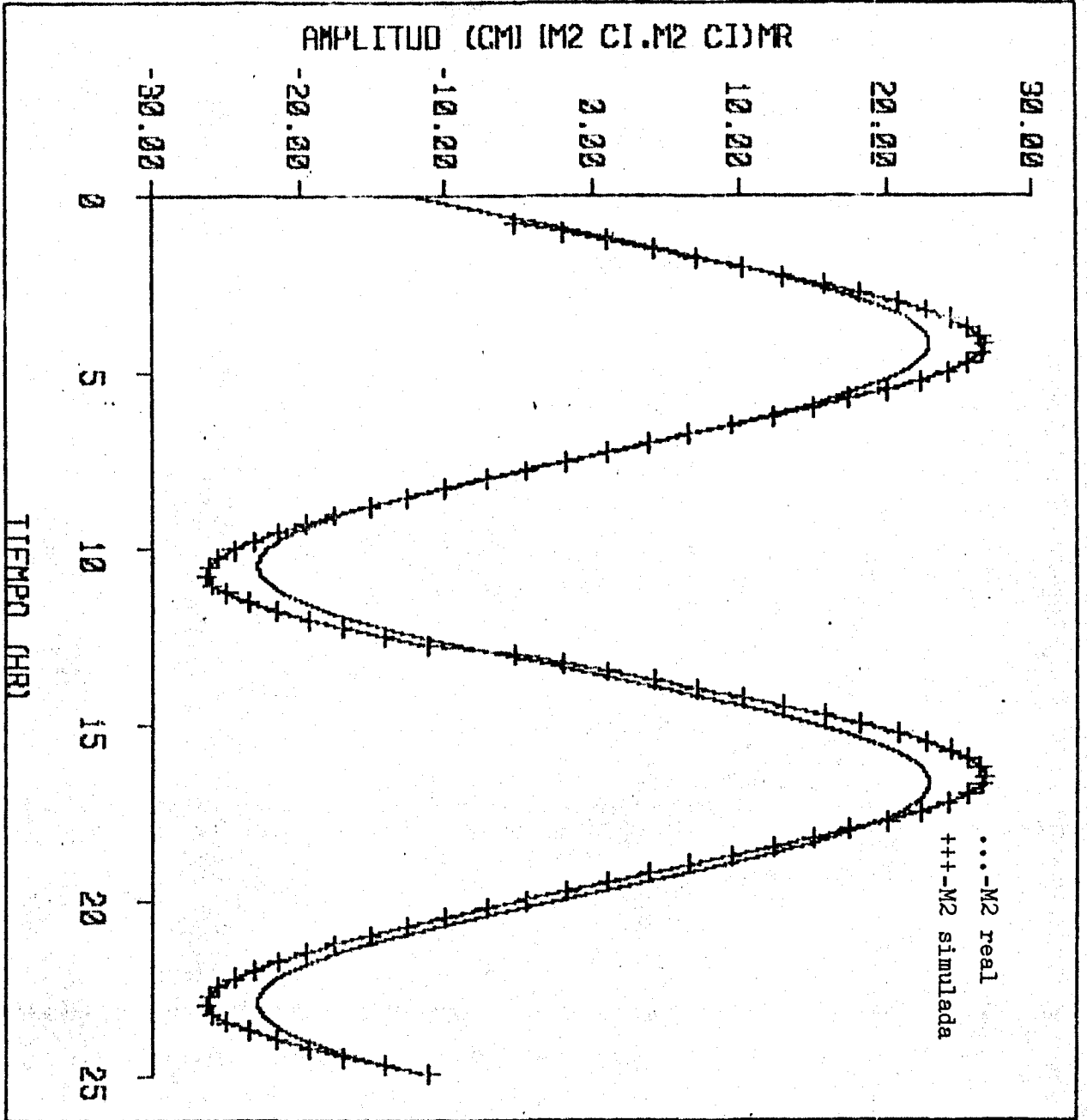


Fig.33.-Comparación de las alturas simuladas de la componente M2 de la marea y las obtenidas del registro en el Cib del 11-12 de noviembre de 1985.

VELOCIDADES DE LA COMPONENTE M<sub>2</sub> OBTENIDAS DEL REGISTRO DE  
NOVIEMBRE DE 1985 Y SIMULADAS EN CANAL DE SAN LORENZO

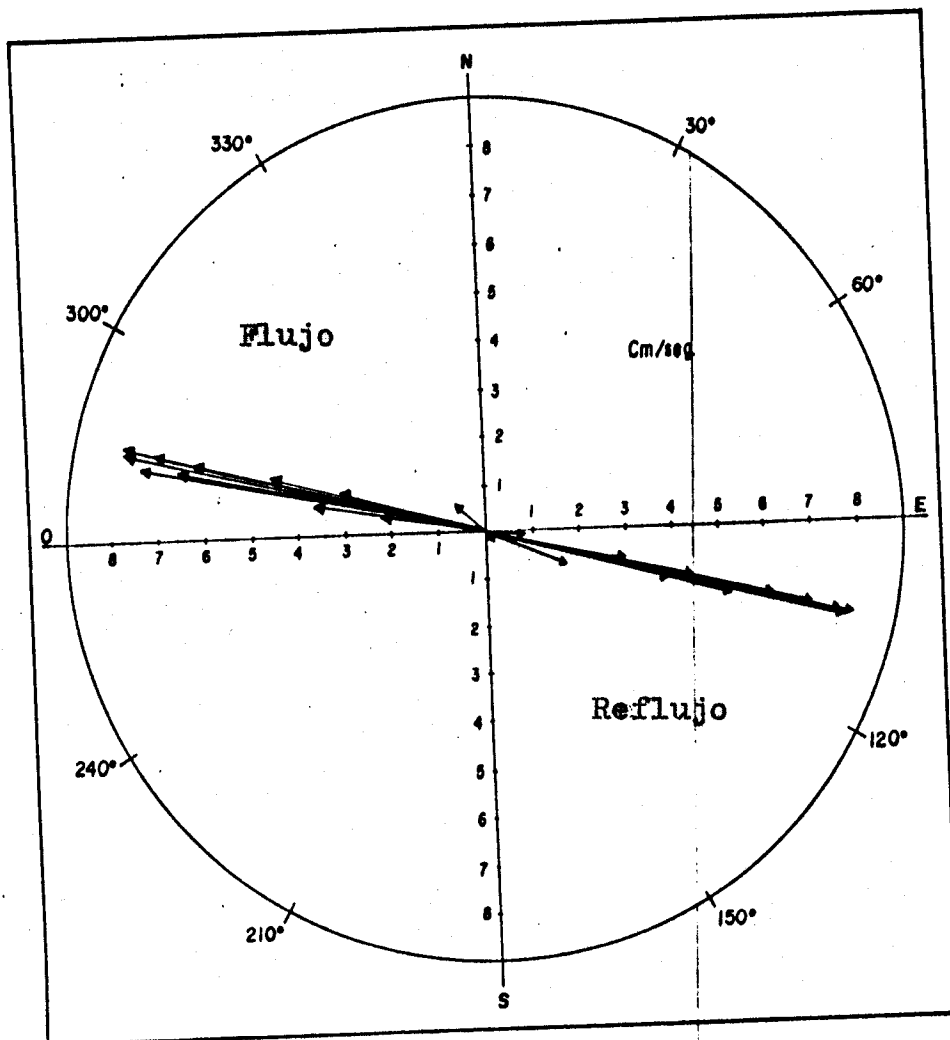


Fig.34.-Velocidades de la componente M2 de la marea en Canal de San Lorenzo a 5 metros de profundidad, obtenidas del registro del 11-12 de noviembre de 1985.

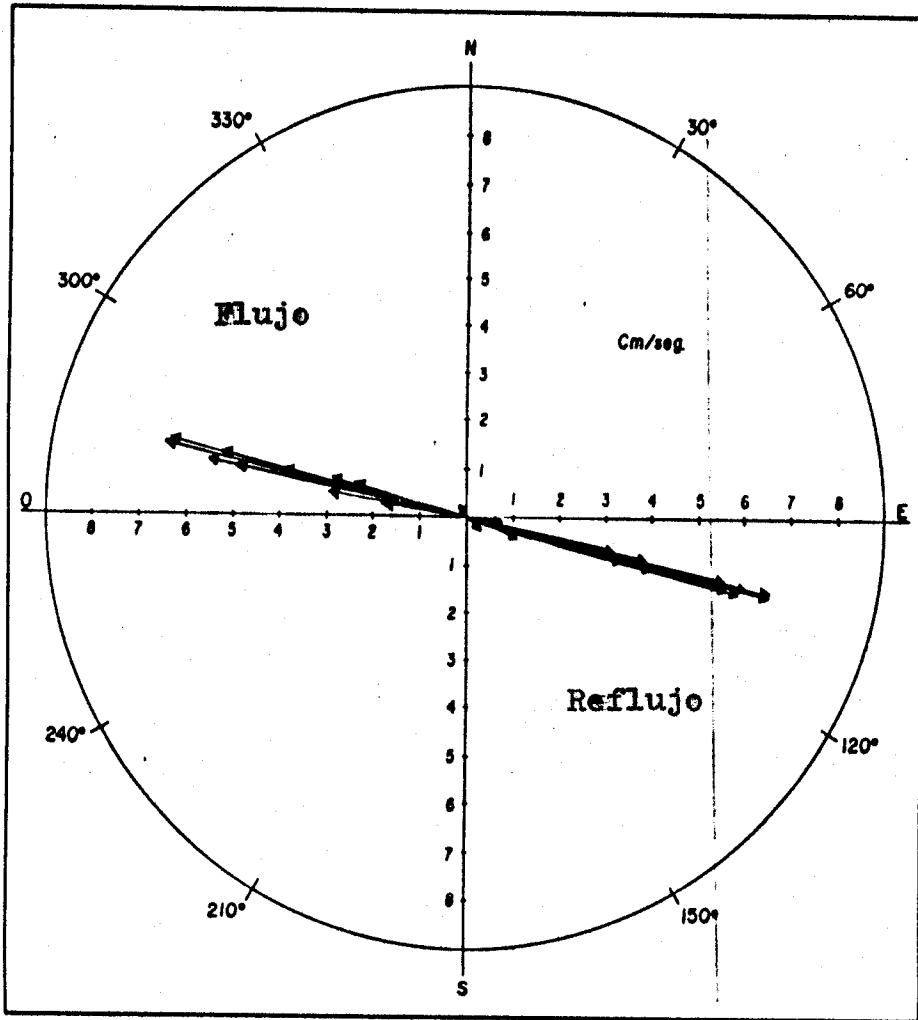


Fig.35.-Velocidades simuladas de la componente M2 de la marea en Canal de San Lorenzo.

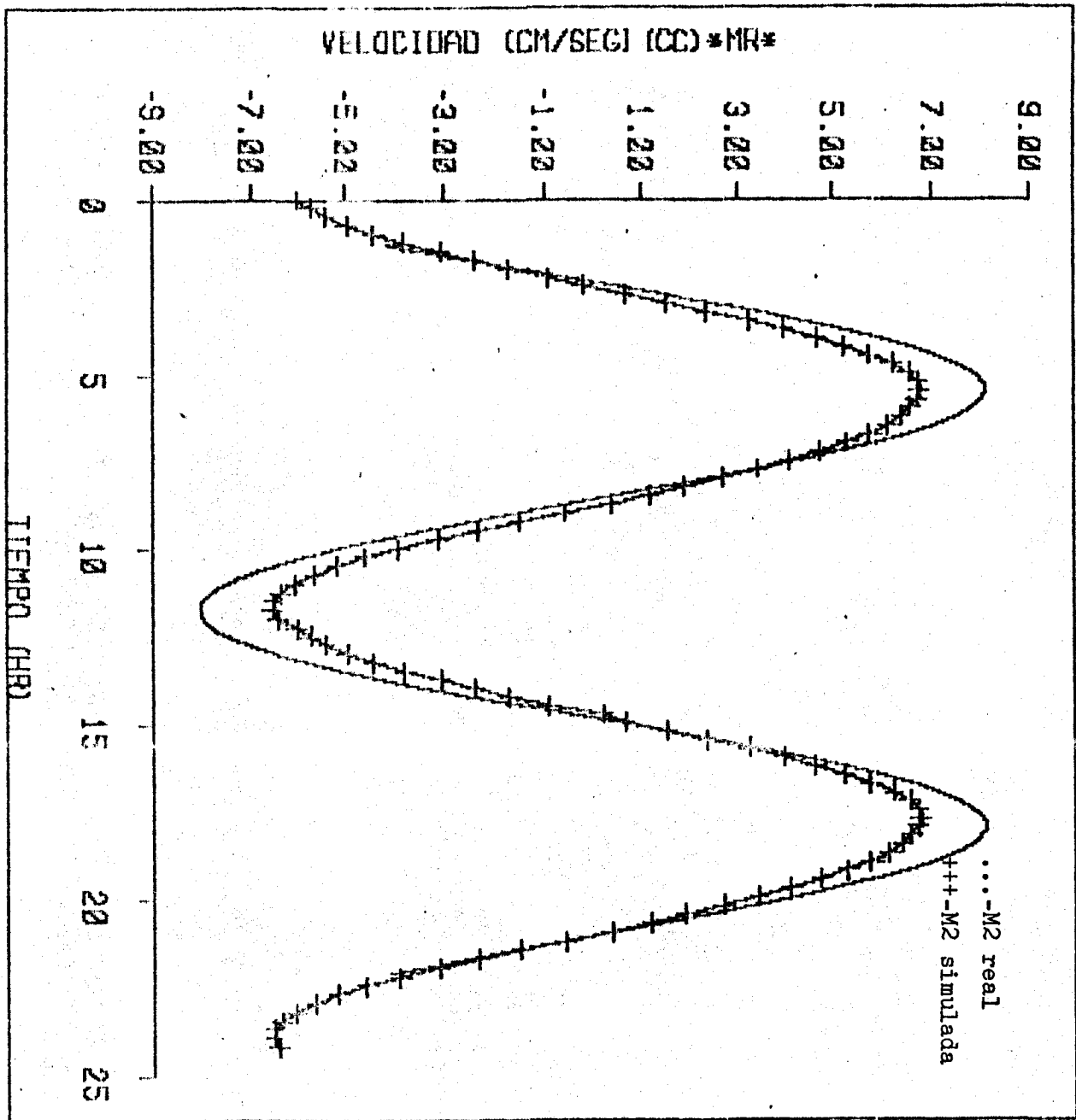


Fig. 36.-Comparación de las velocidades simuladas de la componente M2 de la marea y las obtenidas del registro en Canal de San Lorenzo del 11-12 de noviembre de 1985.

CONFIGURACION DEL NIVEL DEL AGUA POR OCTAVO DE PERIODO DE  
LA COMPONENTE M2 DE LA MAREA



\* VARIACION DE Z \* OCIP7

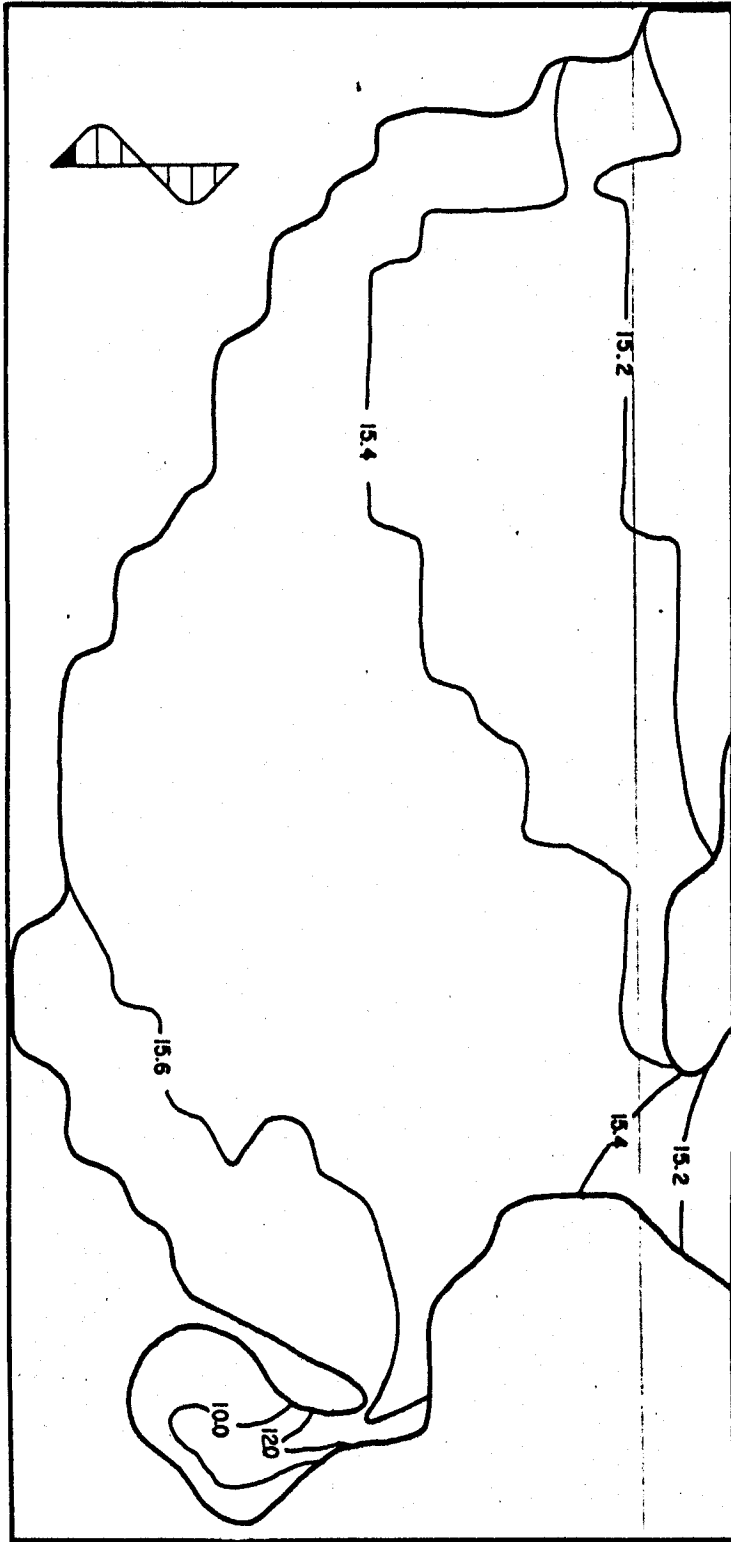


Fig.37a.-Distribución de la superficie libre en centímetros en el primer octavo del período de la componente M2 de la marea.

\* VARIACION DE Z \* 0C2P7

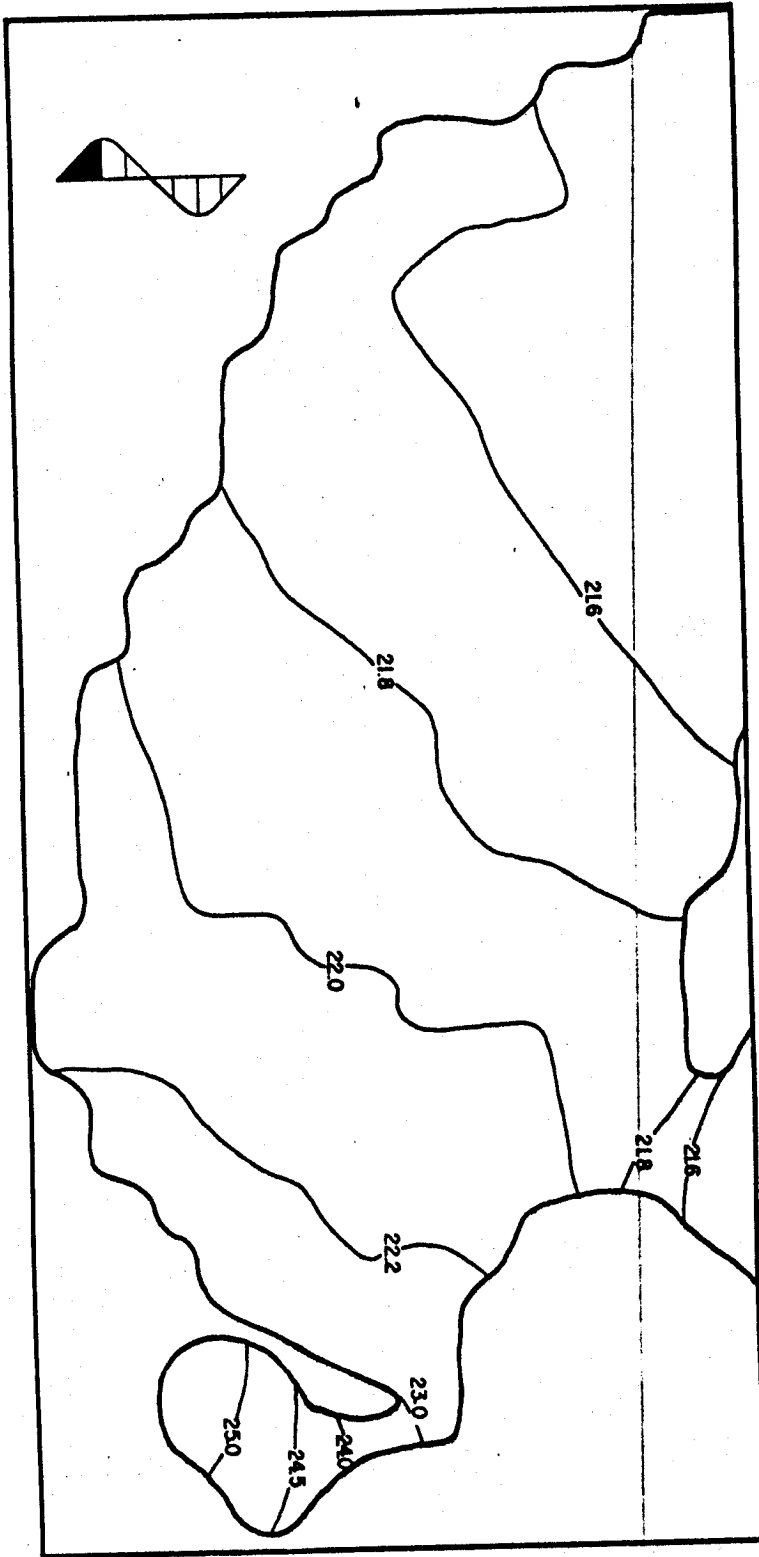


Fig.37b.-Distribución de la superficie libre en centímetros en el segundo octavo del período de la componente M2 de la marea.

\* VARIACION DE Z \* 0C3P7

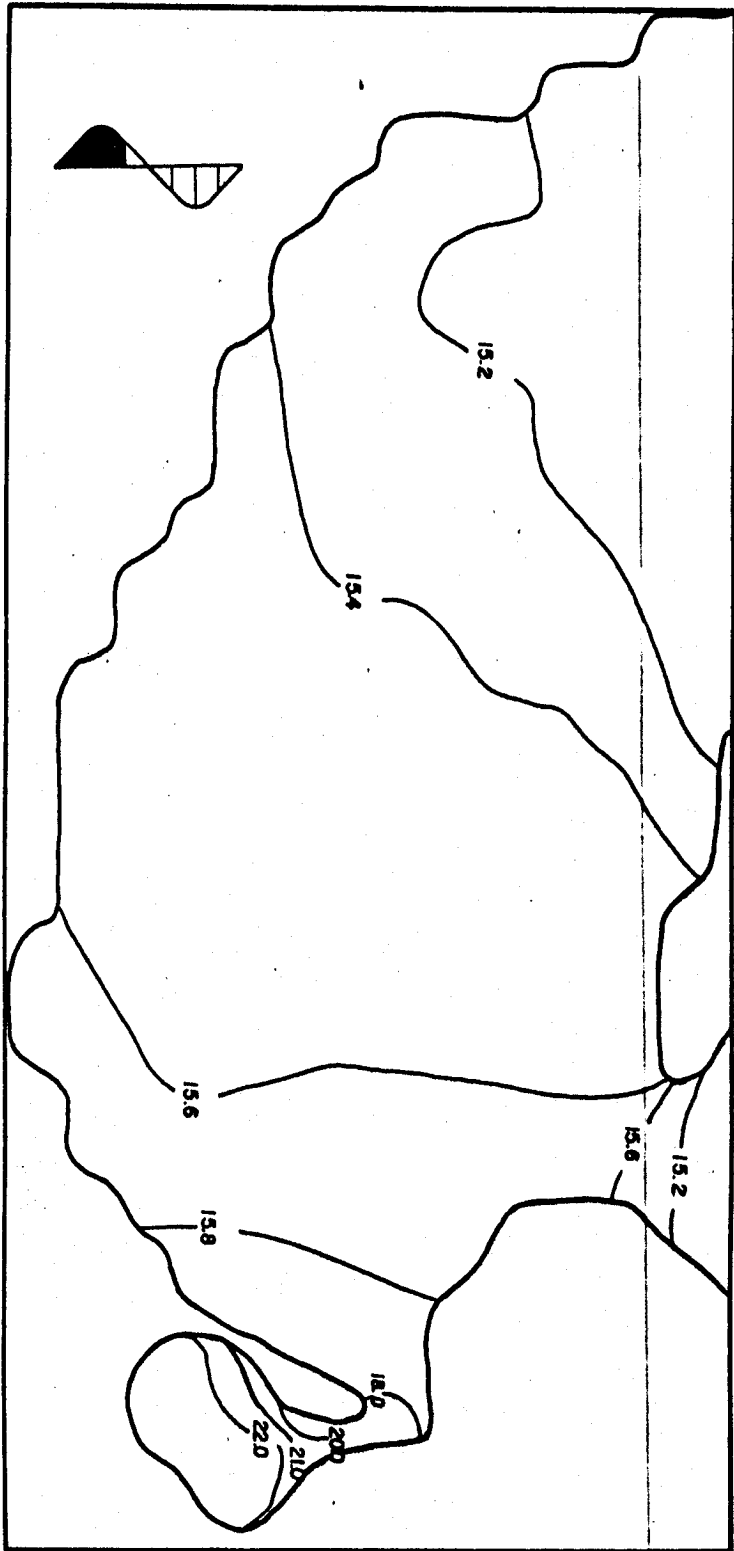


Fig. 37c.-Distribución de la superficie libre en centímetros en el tercer octavo del período de la componente M2 de la marea.

\* VARIACION DE Z \* 0C4P7

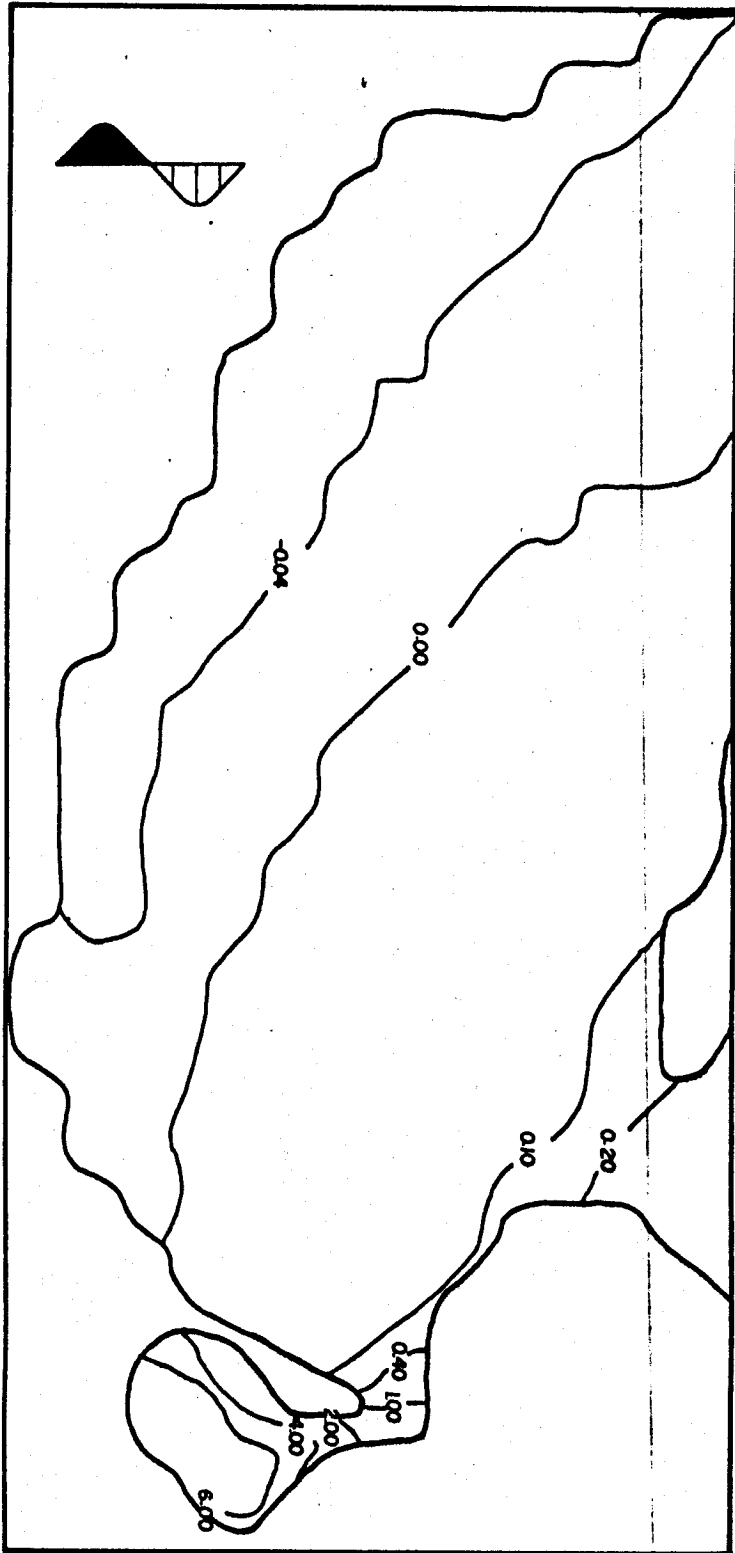


Fig.37d.-Distribución de la superficie libre en centímetros a la mitad del período de la componente M2 de la marea.

\* VARIACION DE Z \* 0C5P7

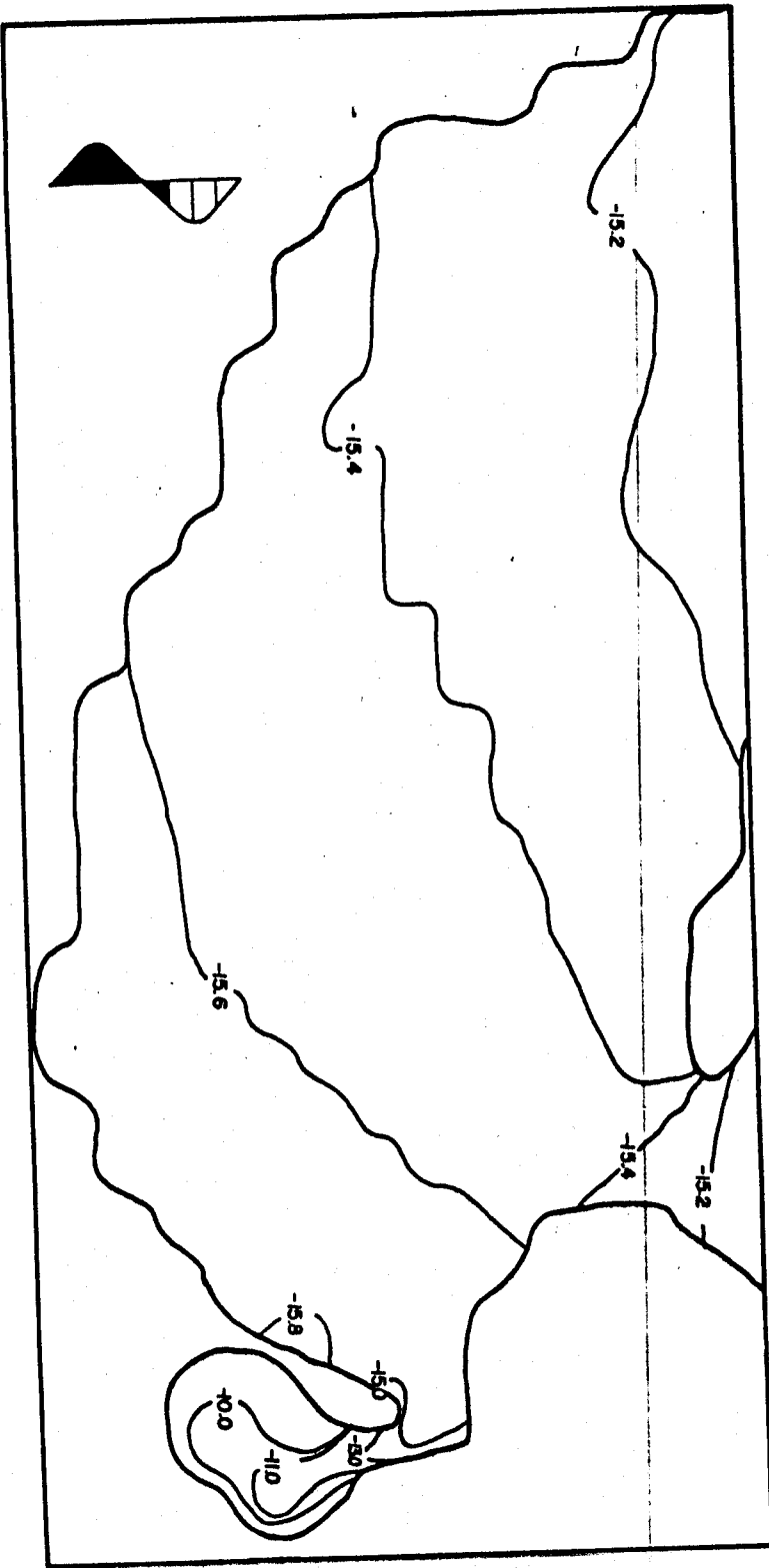


Fig.37e.-Distribución de la superficie libre en centímetros en el quinto octavo del periodo de la componente M2 de la marea.

\* VARIACION DE Z \* 0C6P7

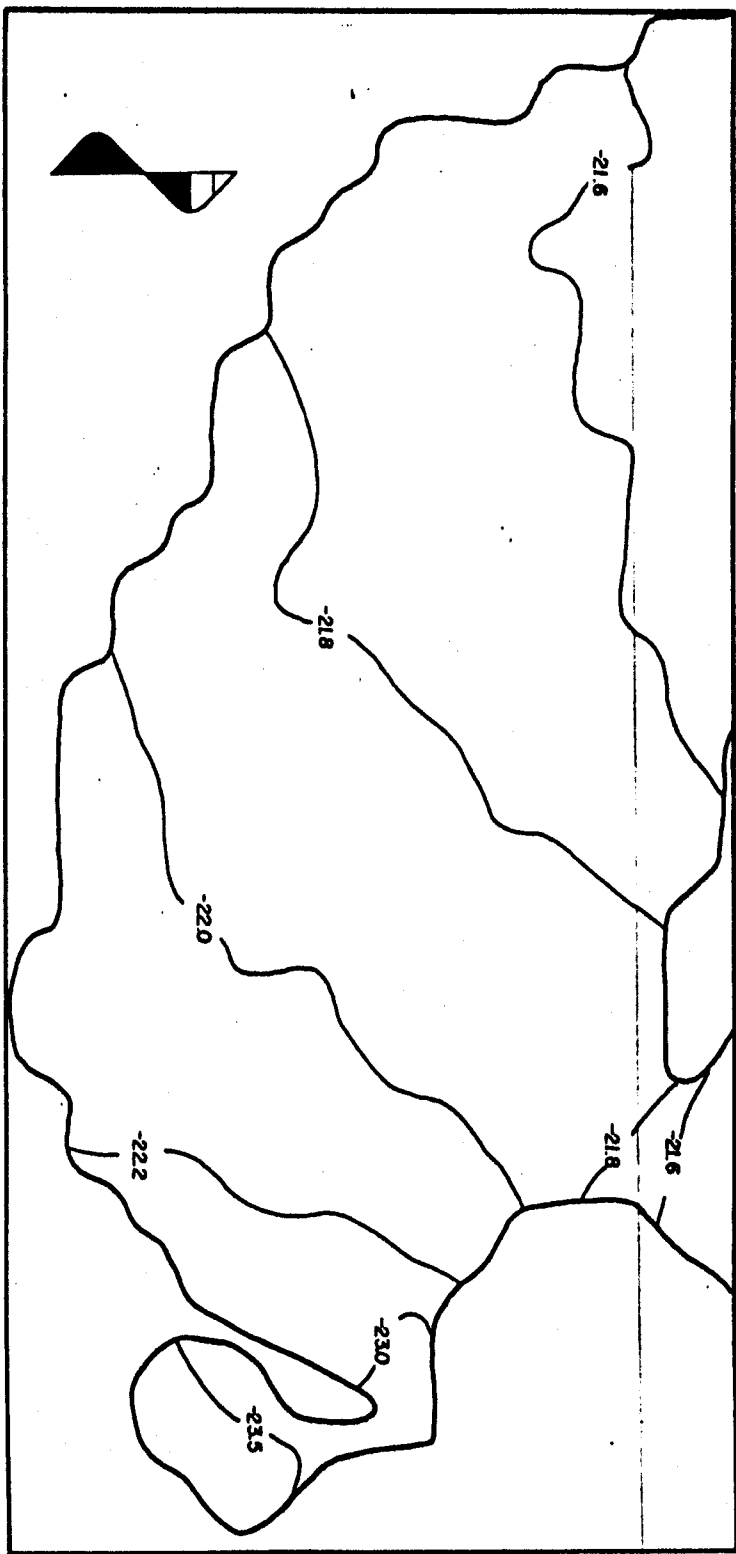


Fig.37f.-Distribución de la superficie libre en centímetros en el sexto octavo del período de la componente M2 de la marea.

\* VARIACION DE Z \* OCT7P7

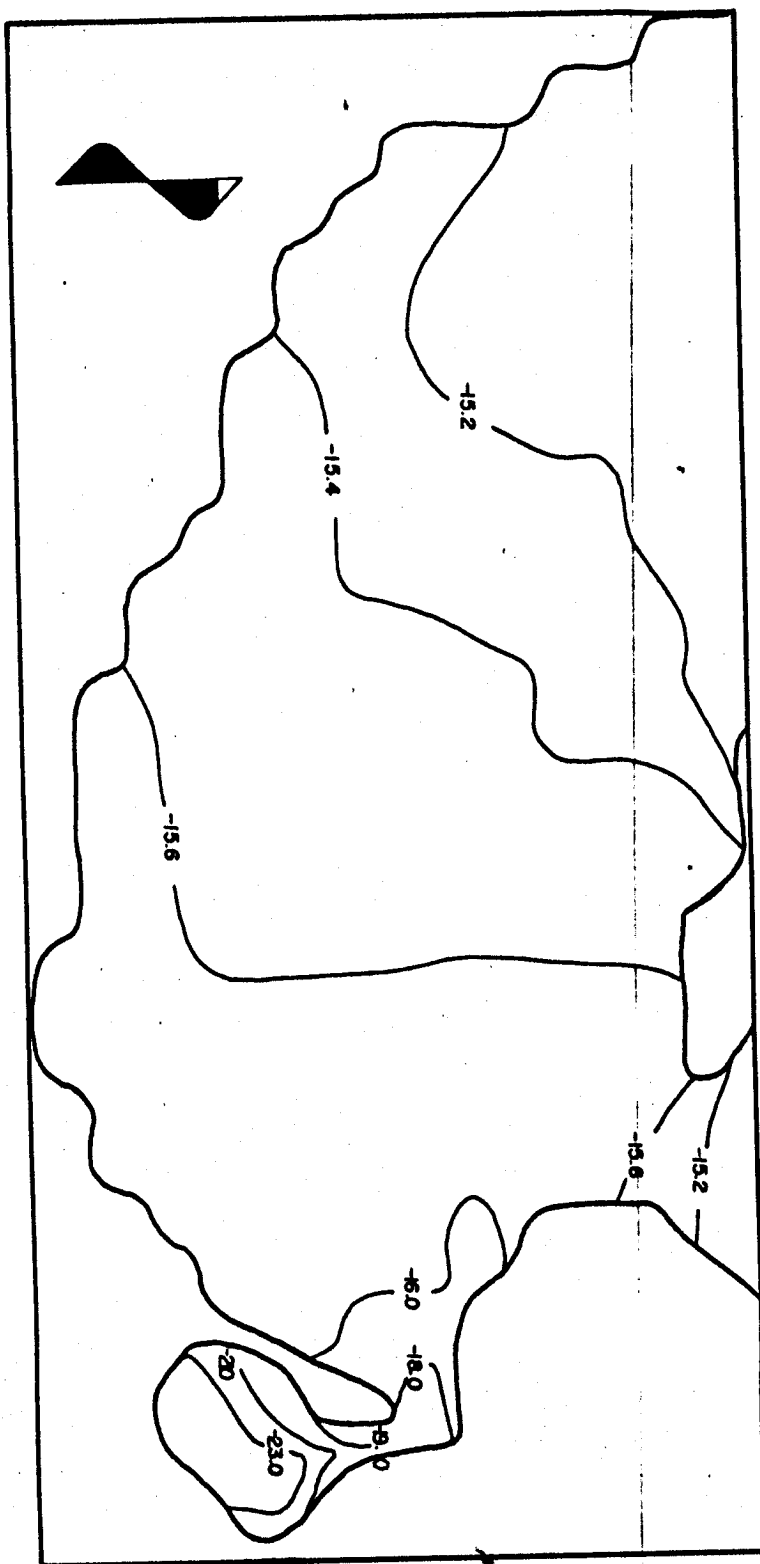


Fig.37g.-Distribución de la superficie libre en centímetros en el séptimo octavo del período de la componente M2 de la marea.

\* VARIACION DE Z \* 0C8P7

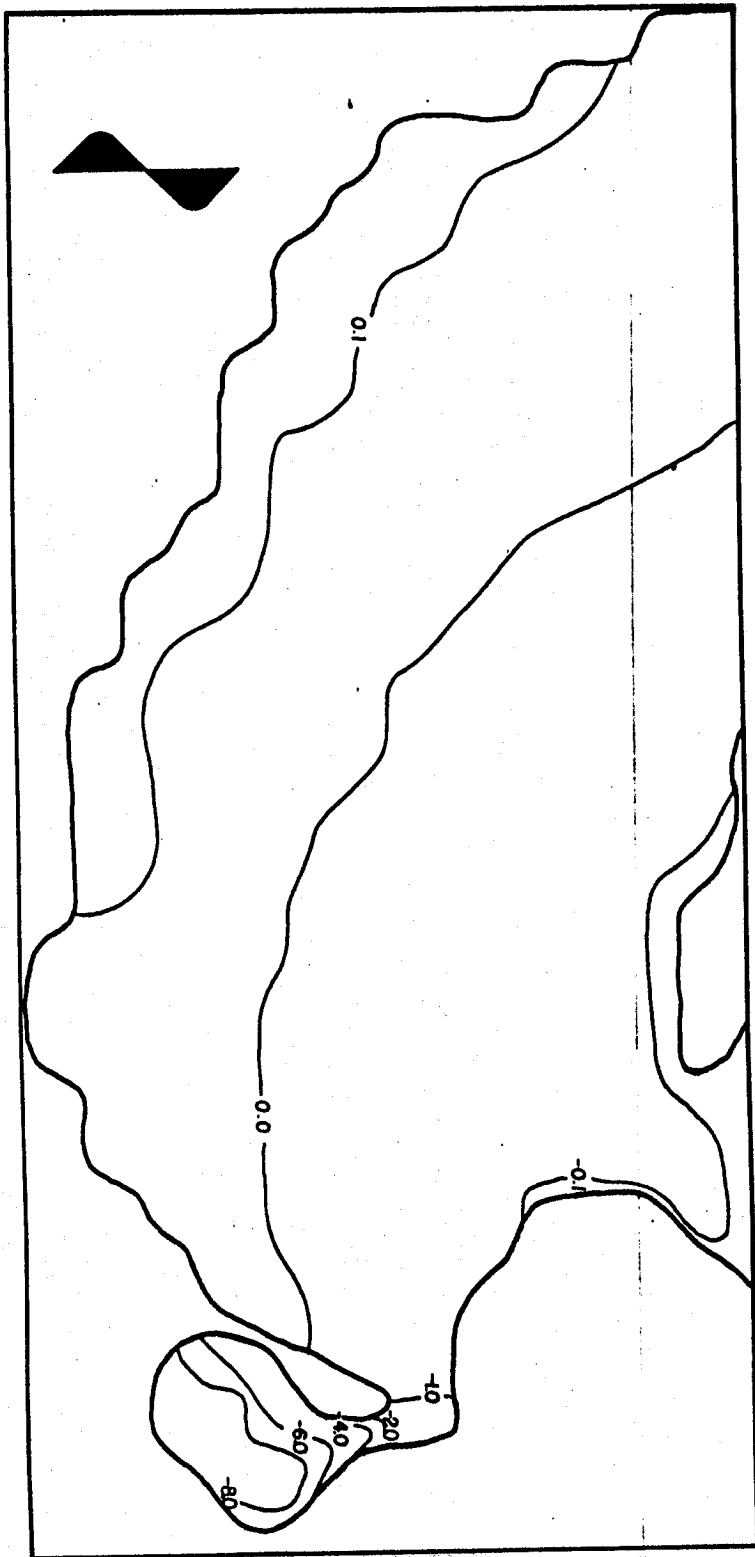
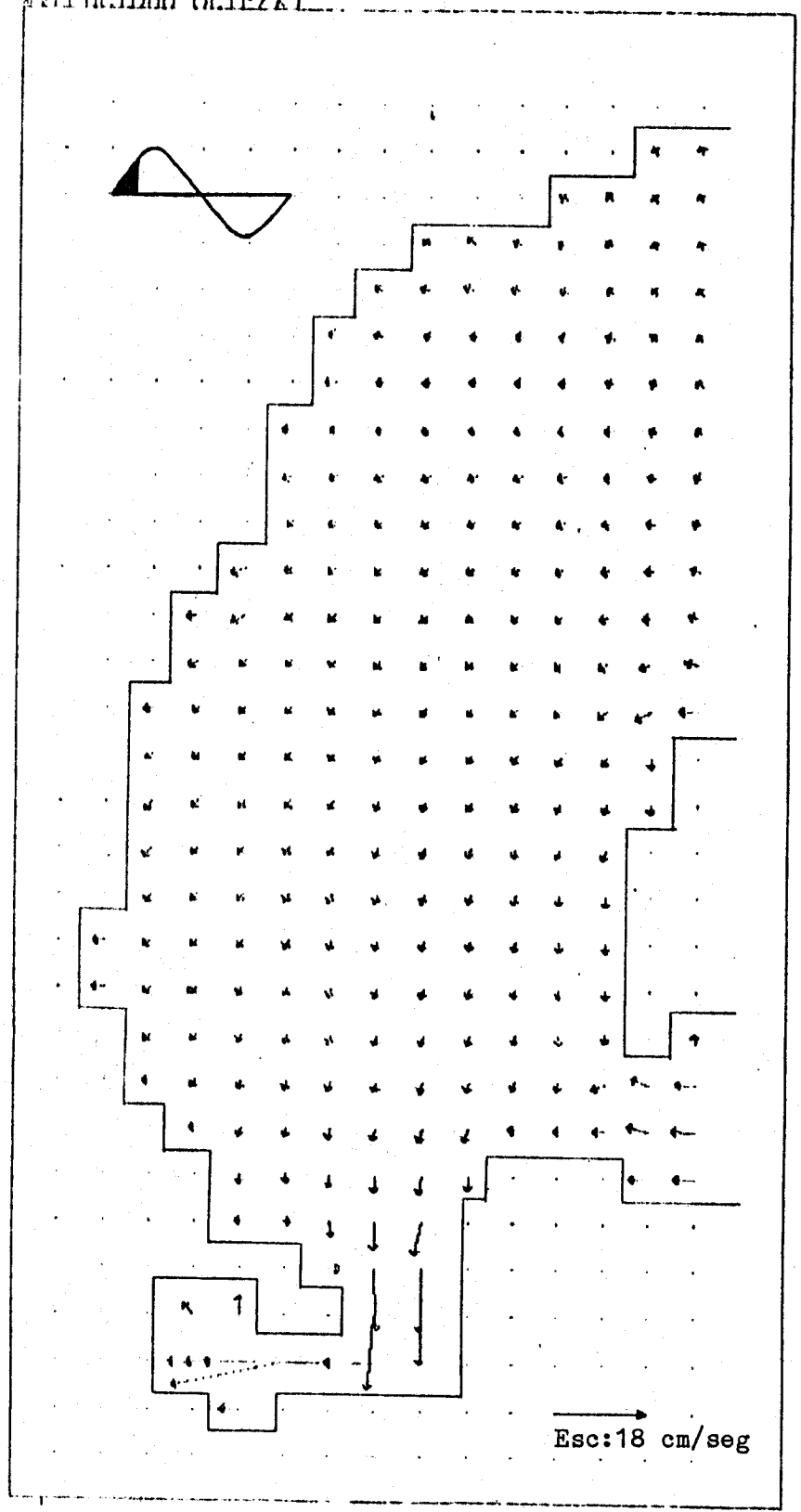


Fig.37h.-Distribución de la superficie libre en centímetros al final del periodo de la componente M2 de la marea.



DISTRIBUCION DE VELOCIDADES POR OCTAVO DE PERIODO DE LA  
COMPONENTE M2 DE LA MAREA

AVIACION OCIPZ&L



CENTRO INTERNACIONAL  
 DE INVESTIGACIONES  
 BIBLIOTECA  
 I.P.N.  
 DONATIVO

Fig. 38a.-Distribución de velocidades en el primer octavo del período de la componente M2 de la marea.

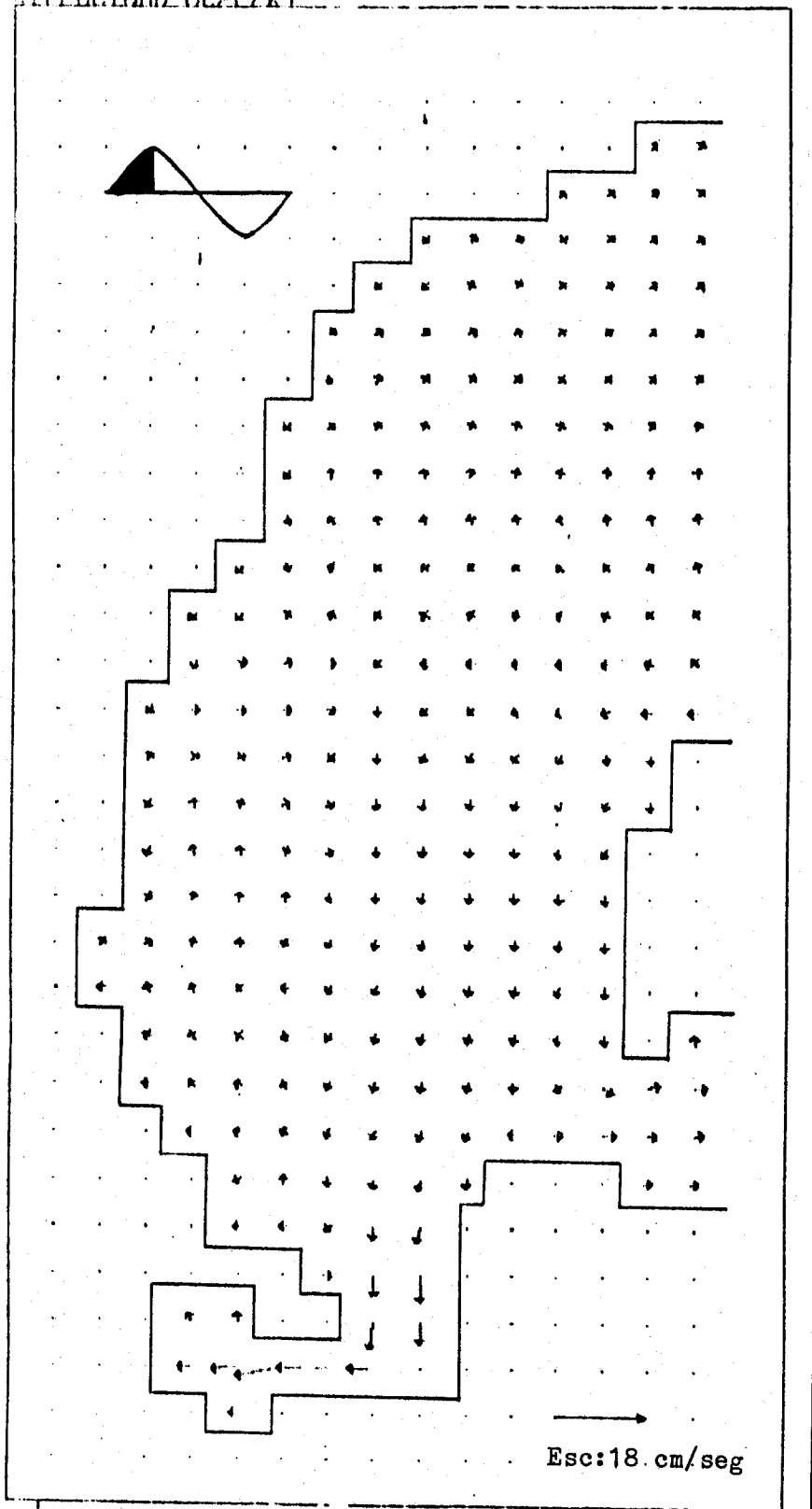


Fig.38b.-Distribución de velocidades en el segundo octavo del período de la componente M2 de la marea.

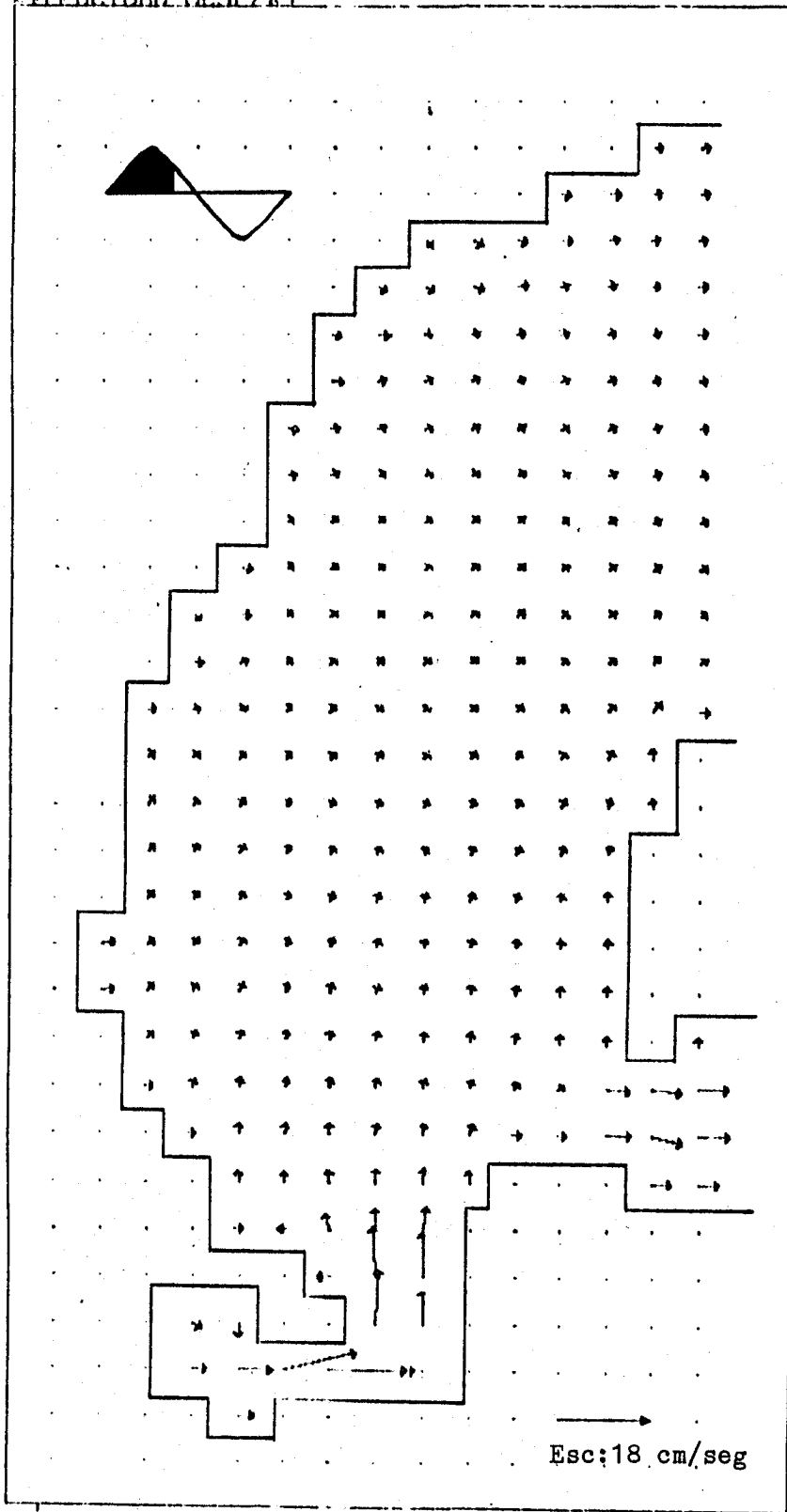


Fig.38c.-Distribución de velocidades en el tercer octavo del período de la componente M2 de la marea.

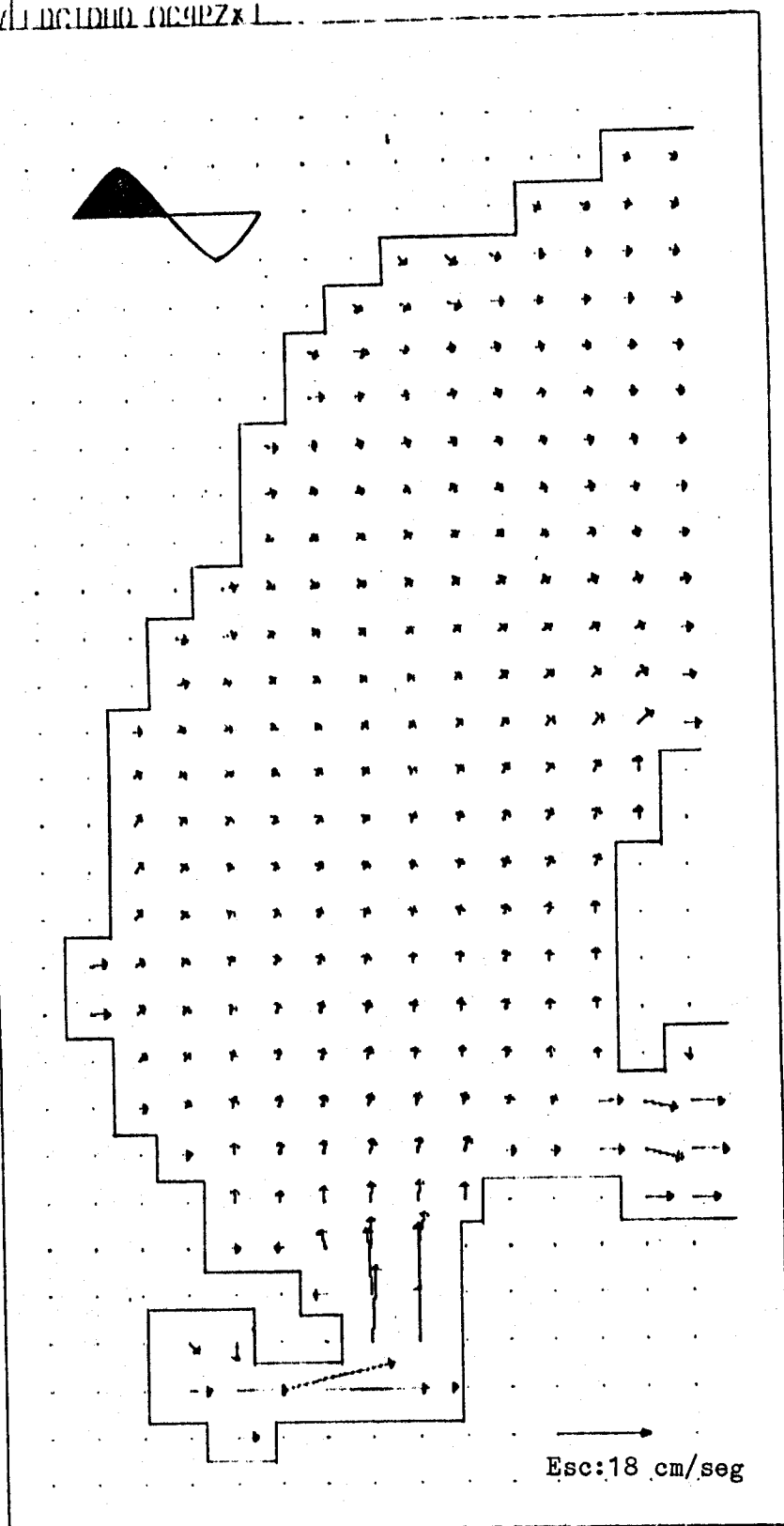


Fig.38d.-Distribución de velocidades a la mitad del período de la componente M2 de la marea.

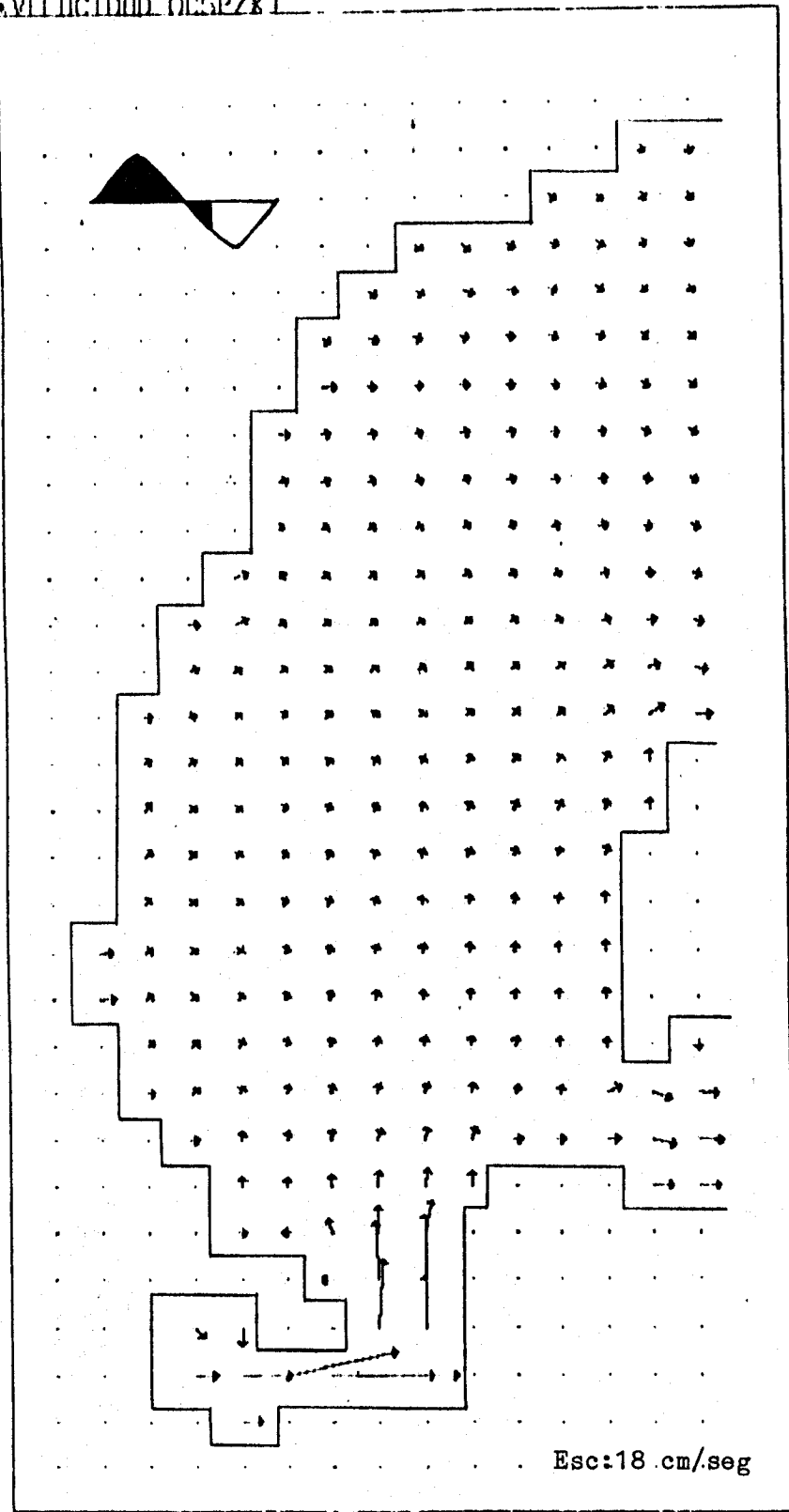


Fig.38e.-Distribución de velocidades en el quinto octavo del período de la componente M2 de la marea.

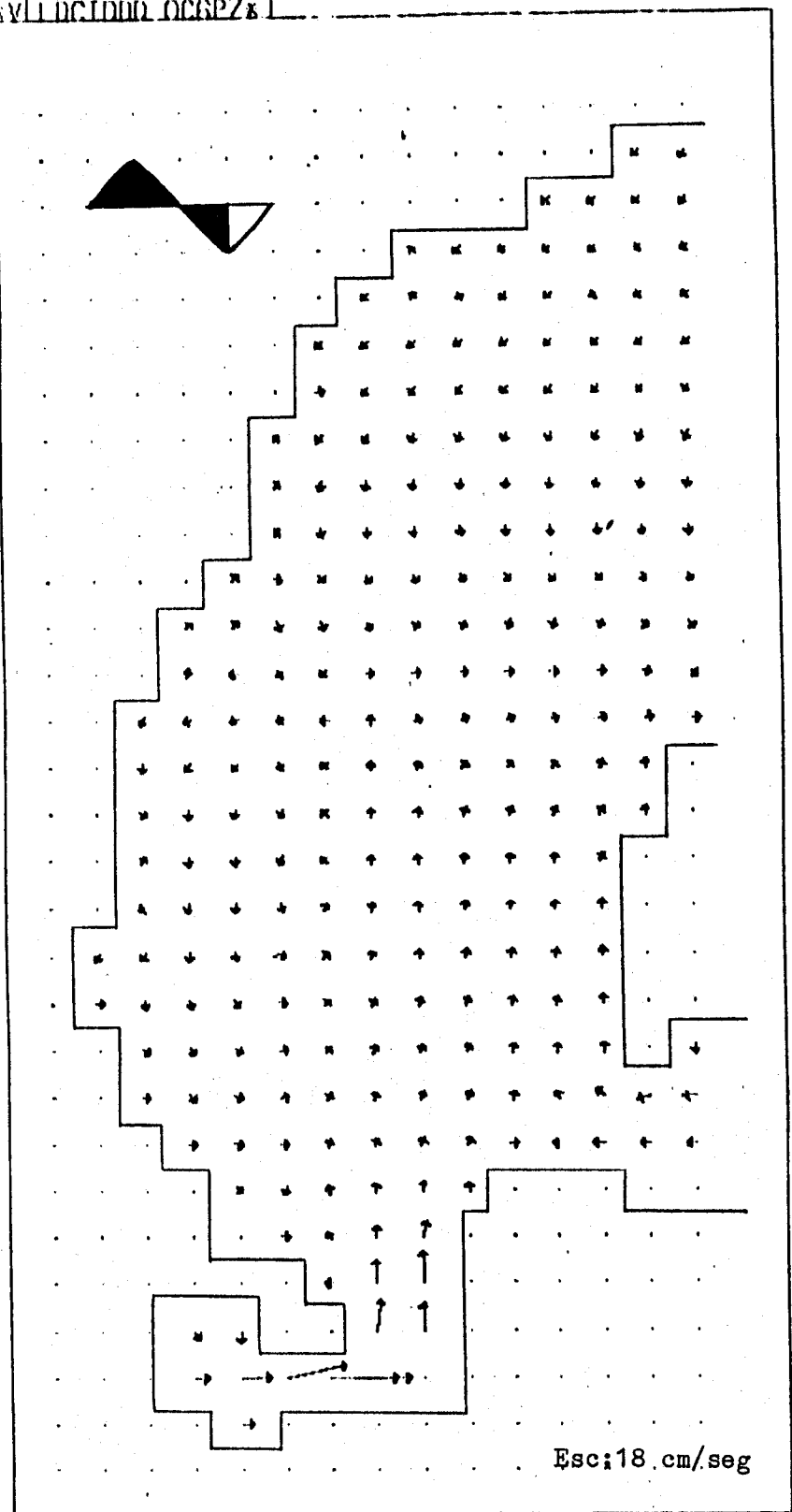


Fig.38f.-Distribución de velocidades en el sexto octavo del período de la componente M2 de la marea.

AVLDCIDDD OCZPZk1

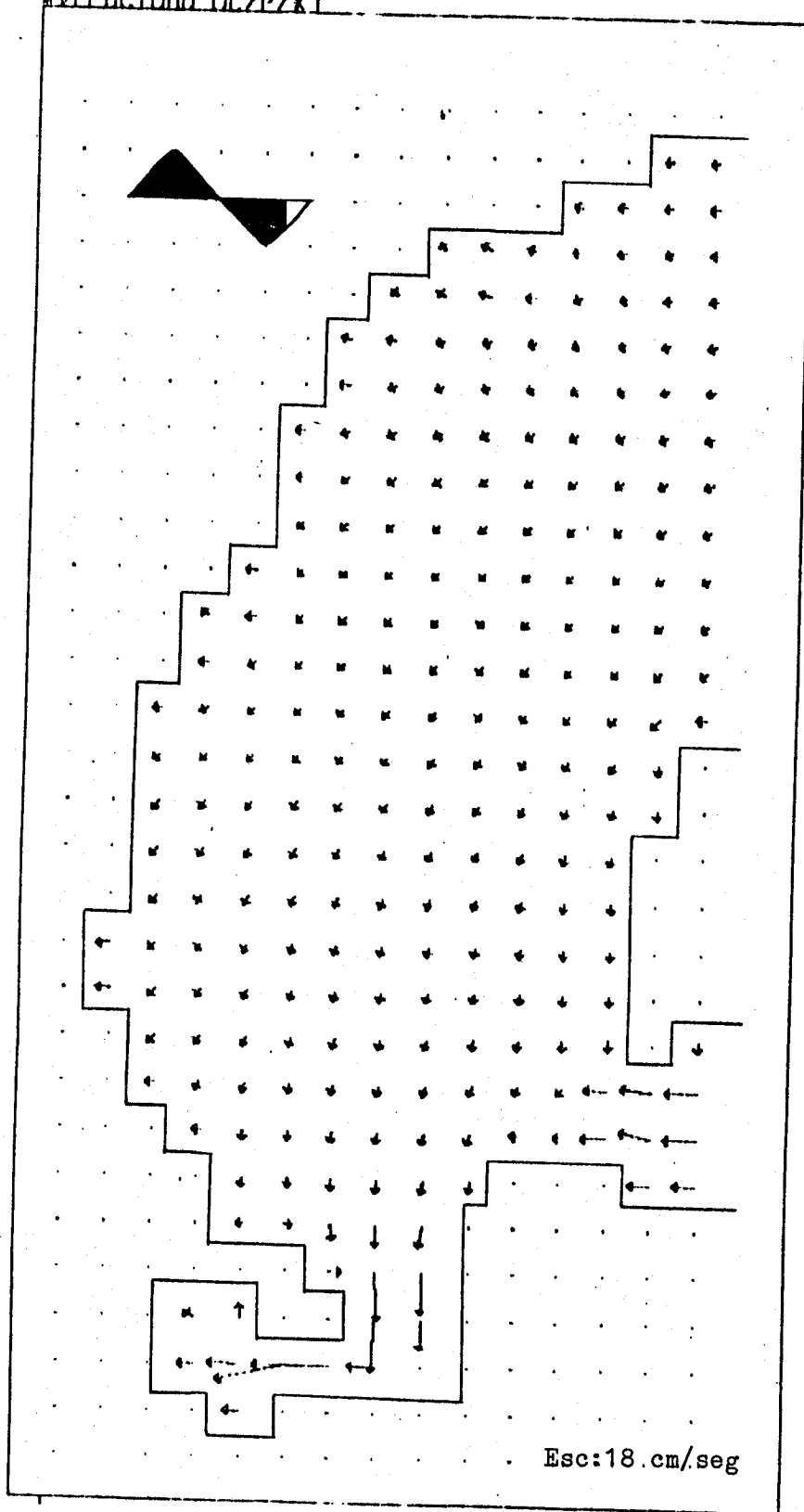


Fig.38g.-Distribución de velocidades en el séptimo octavo del período de la componente M2 de la marea.



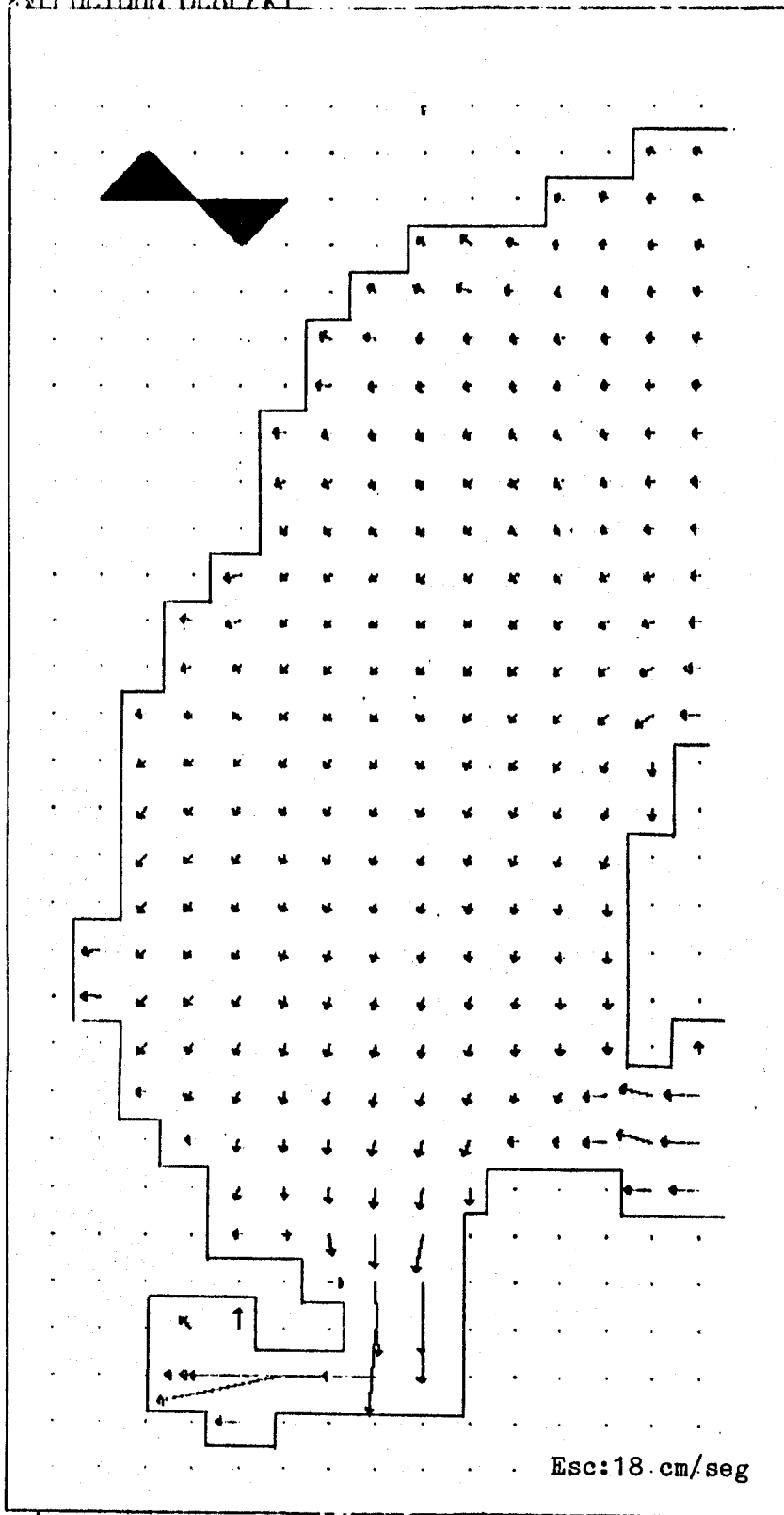


Fig.38h.-Distribución de velocidades al final del período de la componente M2 de la marea.

CONFIGURACION DEL TRANSPORTE POR OCTAVO DE PERIODO DE LA  
COMPONENTE M2 DE LA MAREA

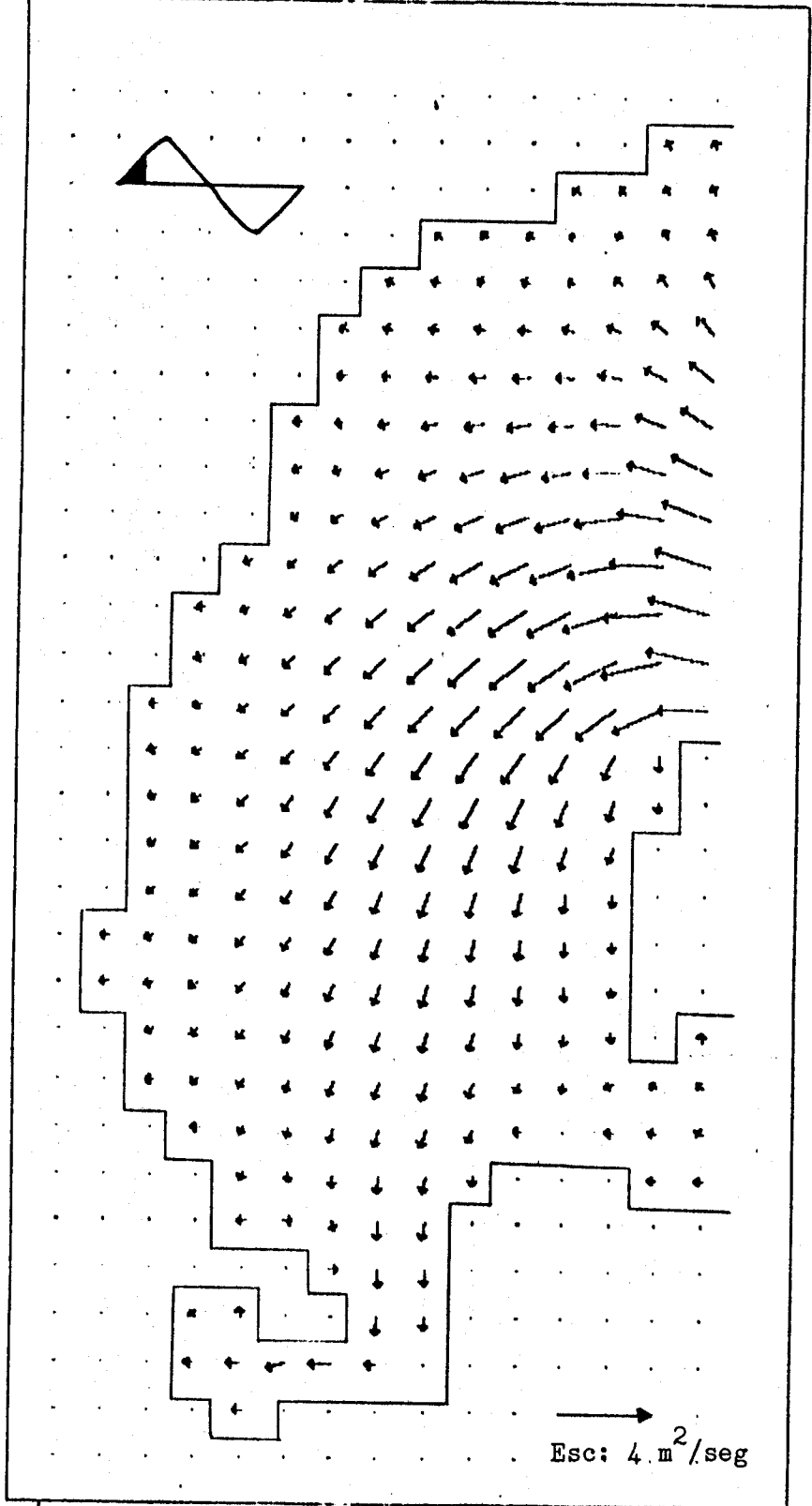


Fig.39a.-Distribución de transporte de agua en el primer octavo del período de la componente M2 de la marea.

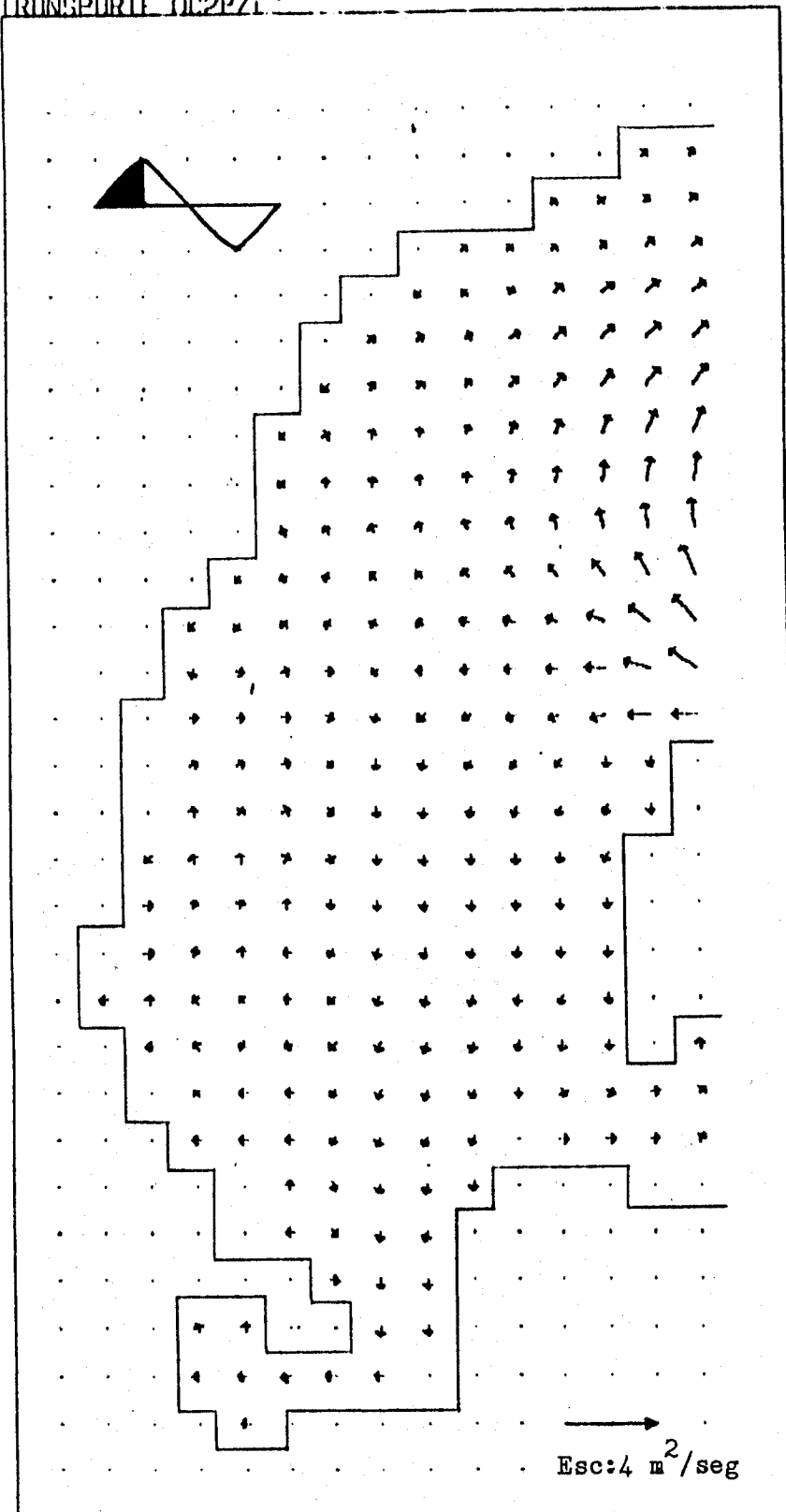


Fig.39b.-Distribución de transporte de agua en el segundo octavo del período de la componente M2 de la marea.

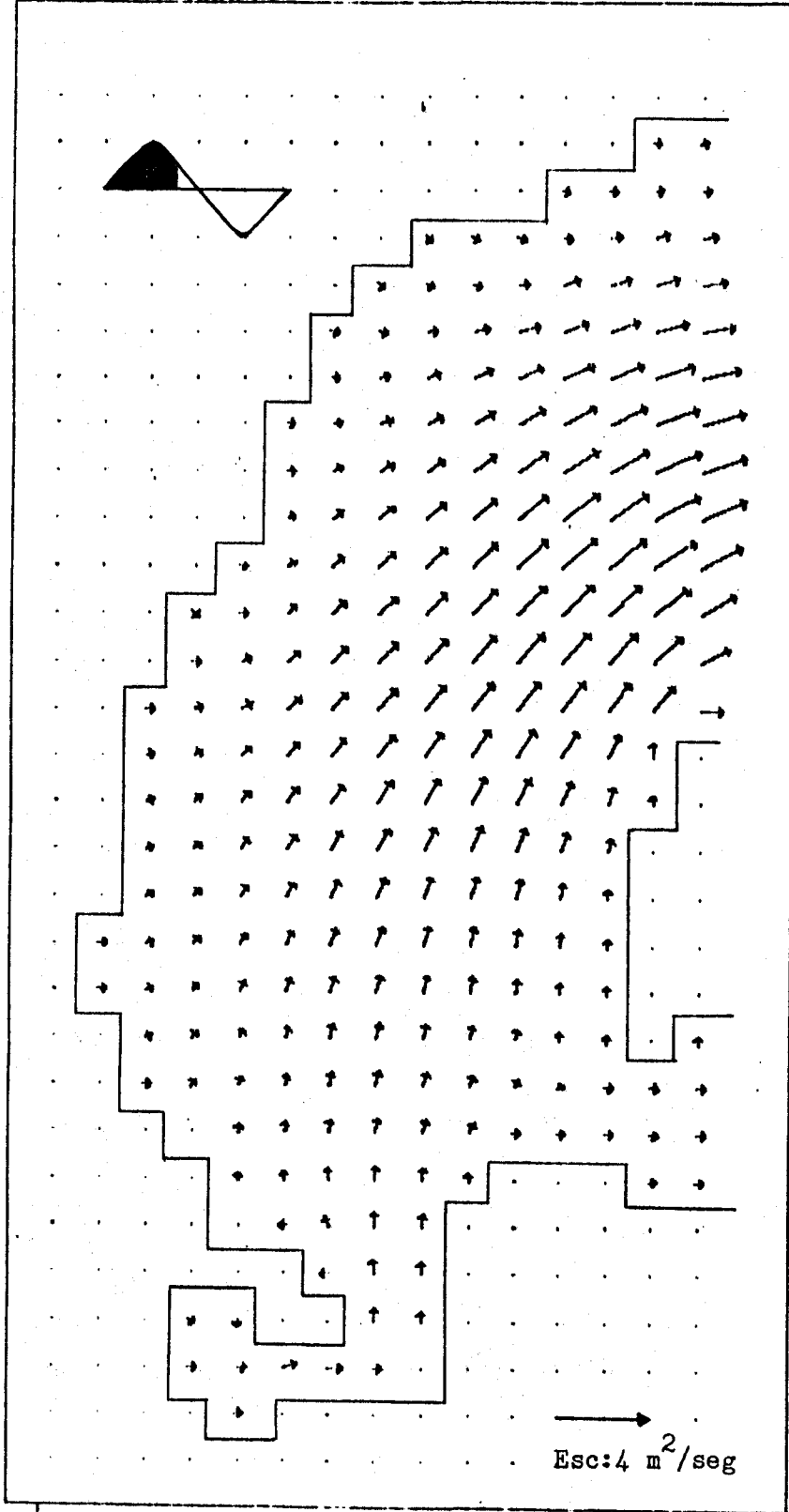


Fig.39c.-Distribución de transporte de agua en el tercer octavo del período de la componente M2 de la marea.

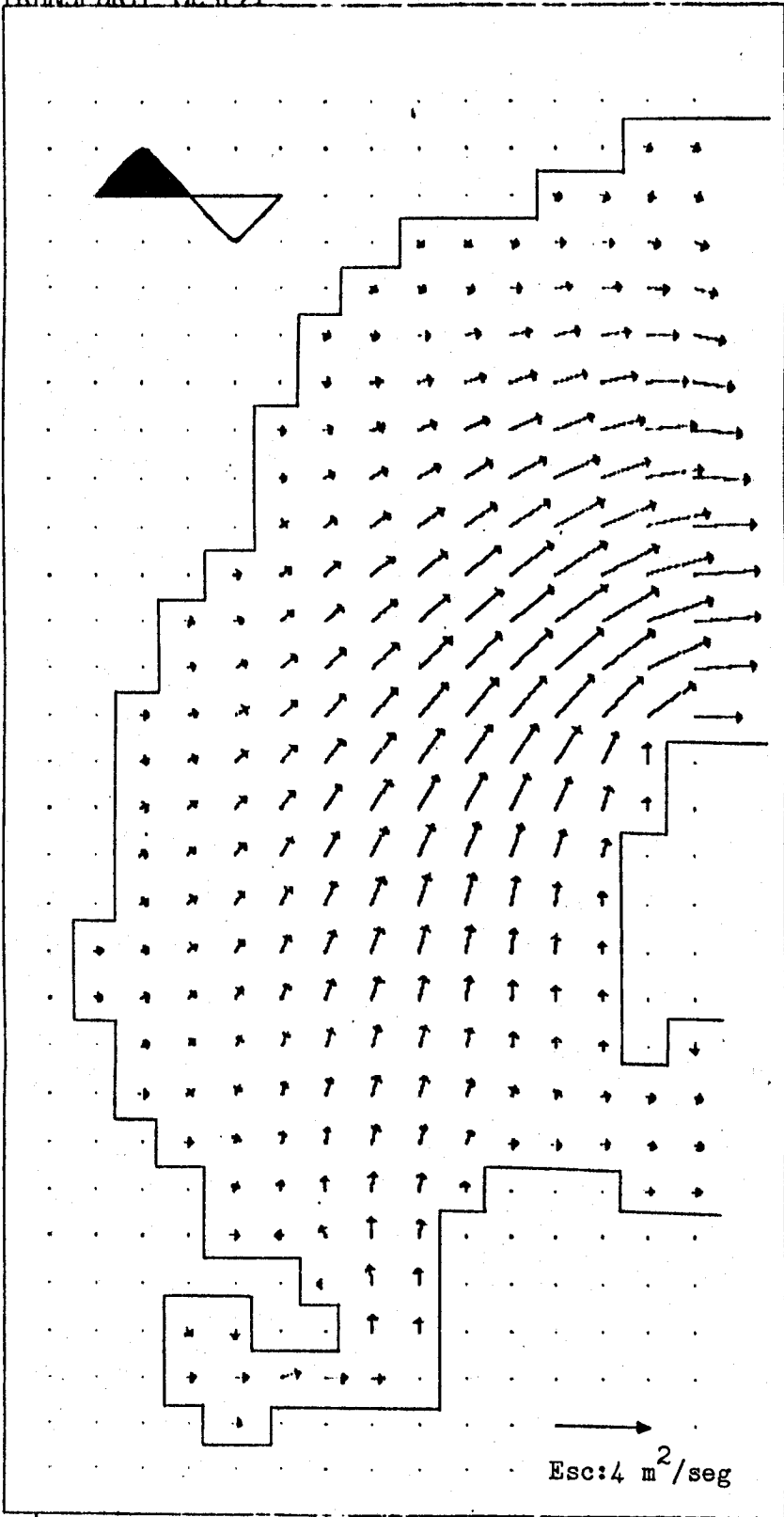
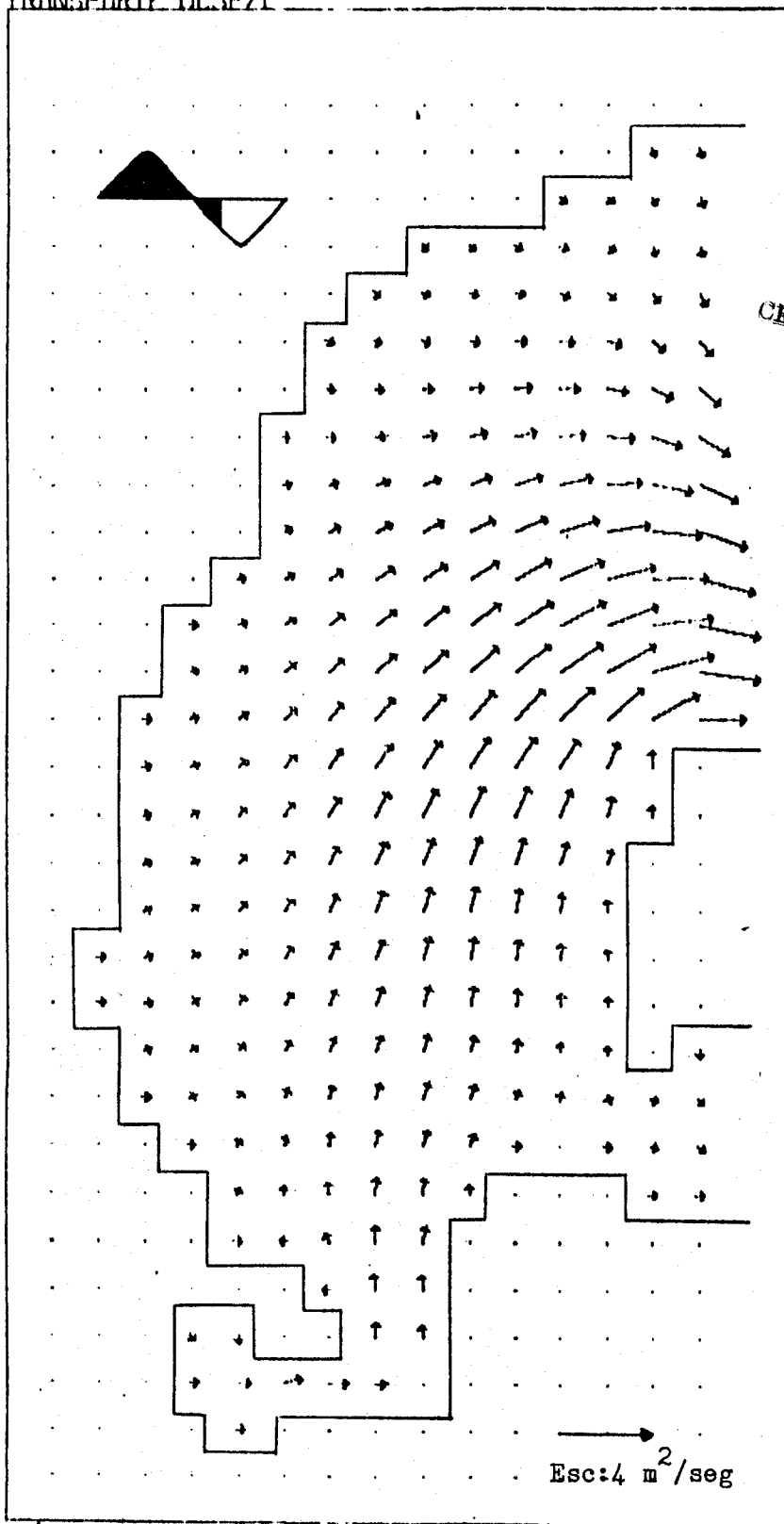


Fig.39d.-Distribución de transporte de agua a la mitad del período de la componente M2 de la marea.



CENTRO DE INVESTIGACIONES  
DISCIPLINAR  
BIBLIOTECA  
I.P.N.  
DONATIVO

Fig.39e.-Distribución de transporte de agua en el quinto octavo del período de la componente M2 de la marea.

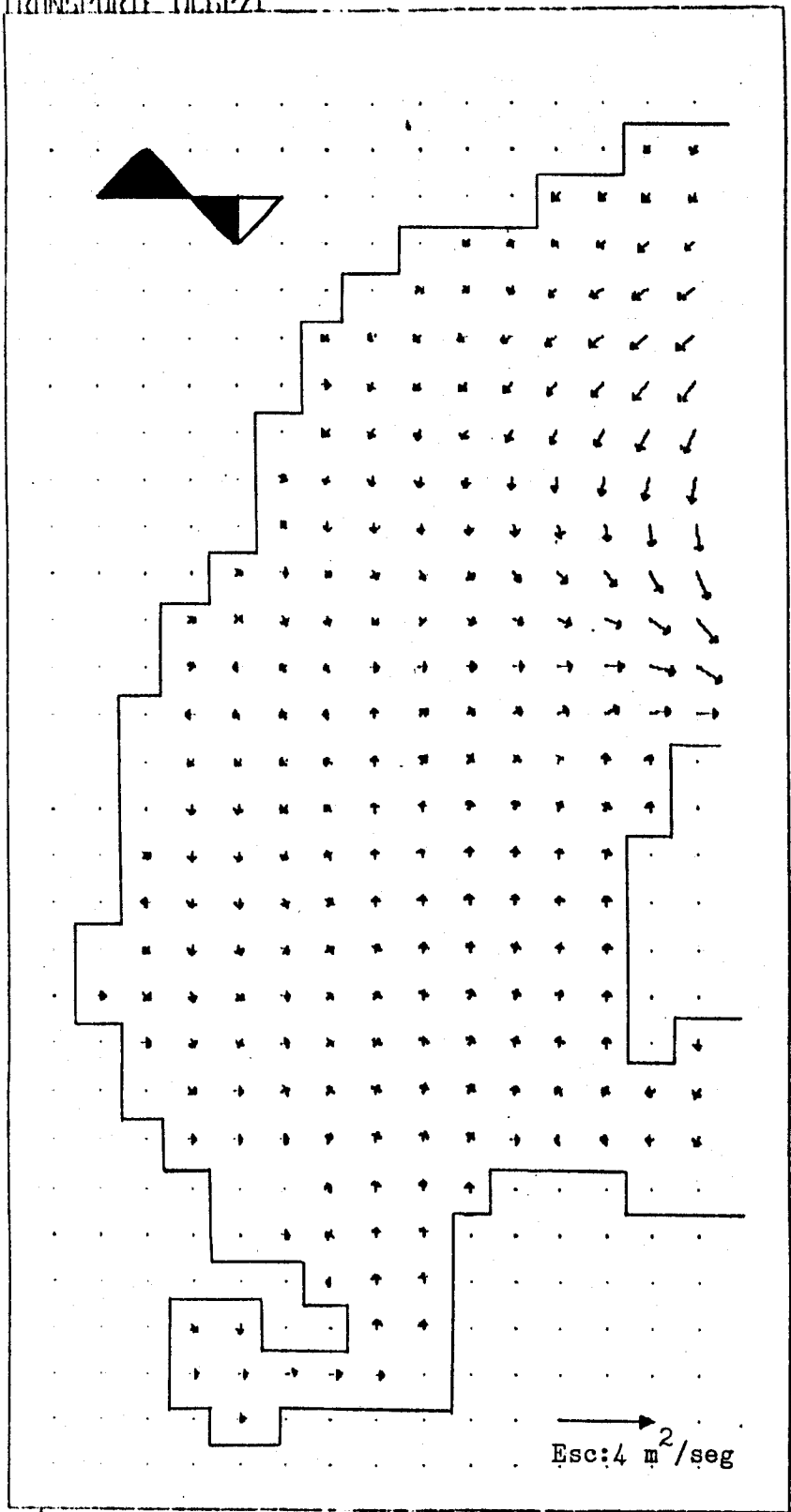


Fig. 39f.-Distribución de transporte de agua en el sexto octavo del período de la componente M2 de la marea.



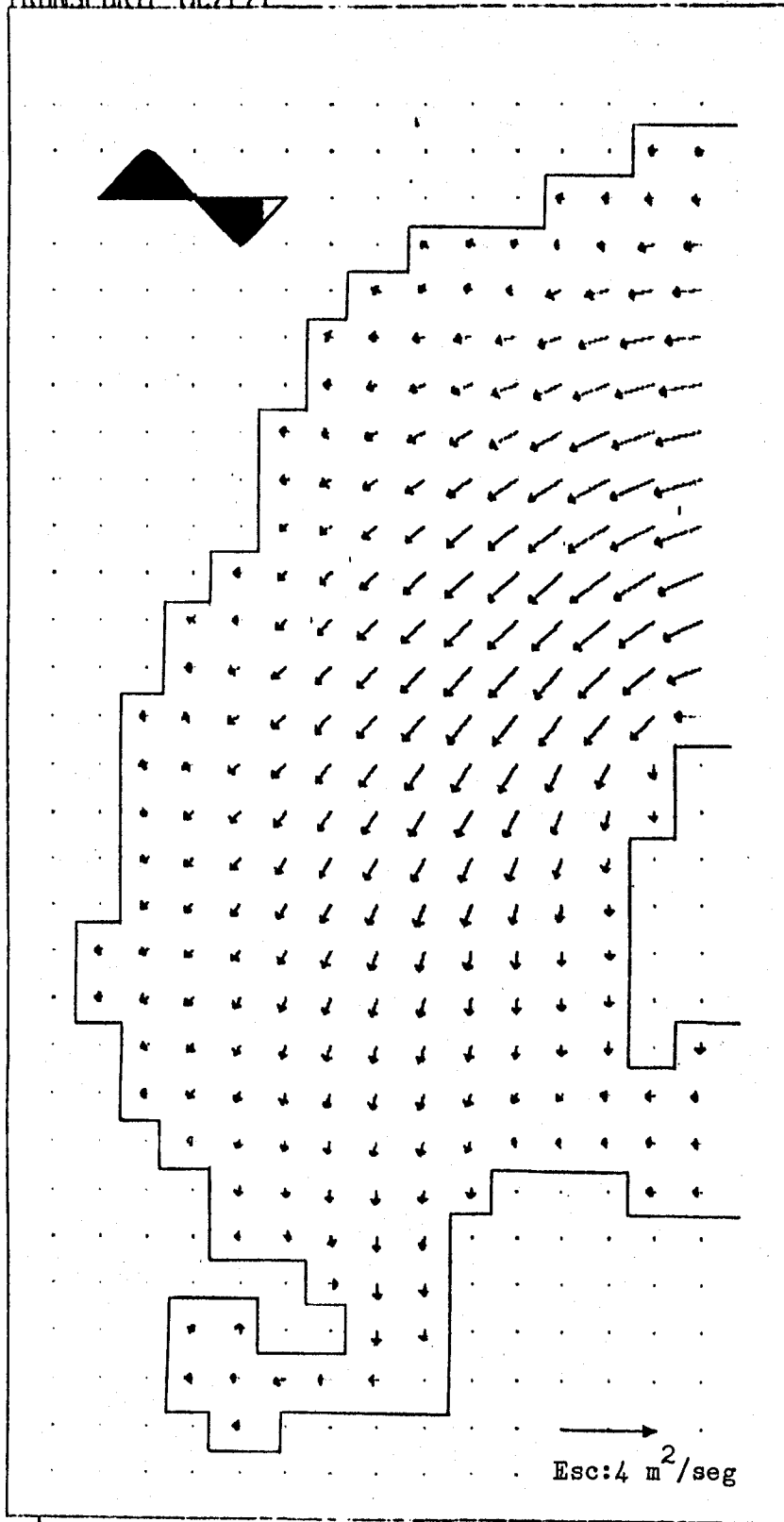


Fig.39g.-Distribución de transporte de agua en el séptimo octavo del período de la componente M2 de la marea.

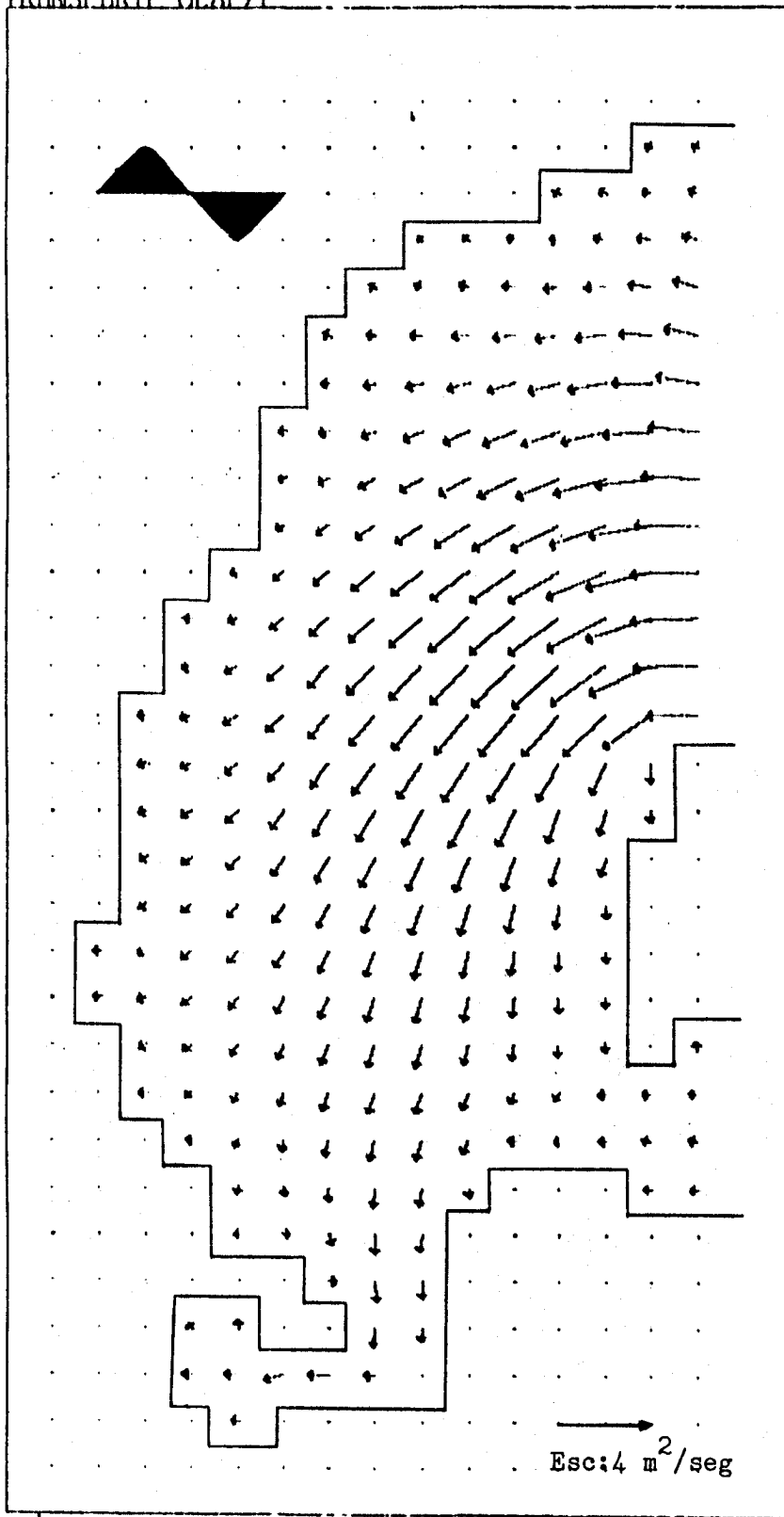


Fig.39h.-Distribución de transporte de agua en el último octavo del período de la componente M2 de la marea.

ELEVACIONES MAXIMAS, RETRASOS DE LA PLEAMAR Y TRANSPORTE  
RESIDUAL AL FINAL DEL PERIODO DE LA COMPONENTE M2 DE LA  
MAREA EN LA BAHIA DE LA PAZ

\* ELEVACIONES MAXIMAS \* BLP

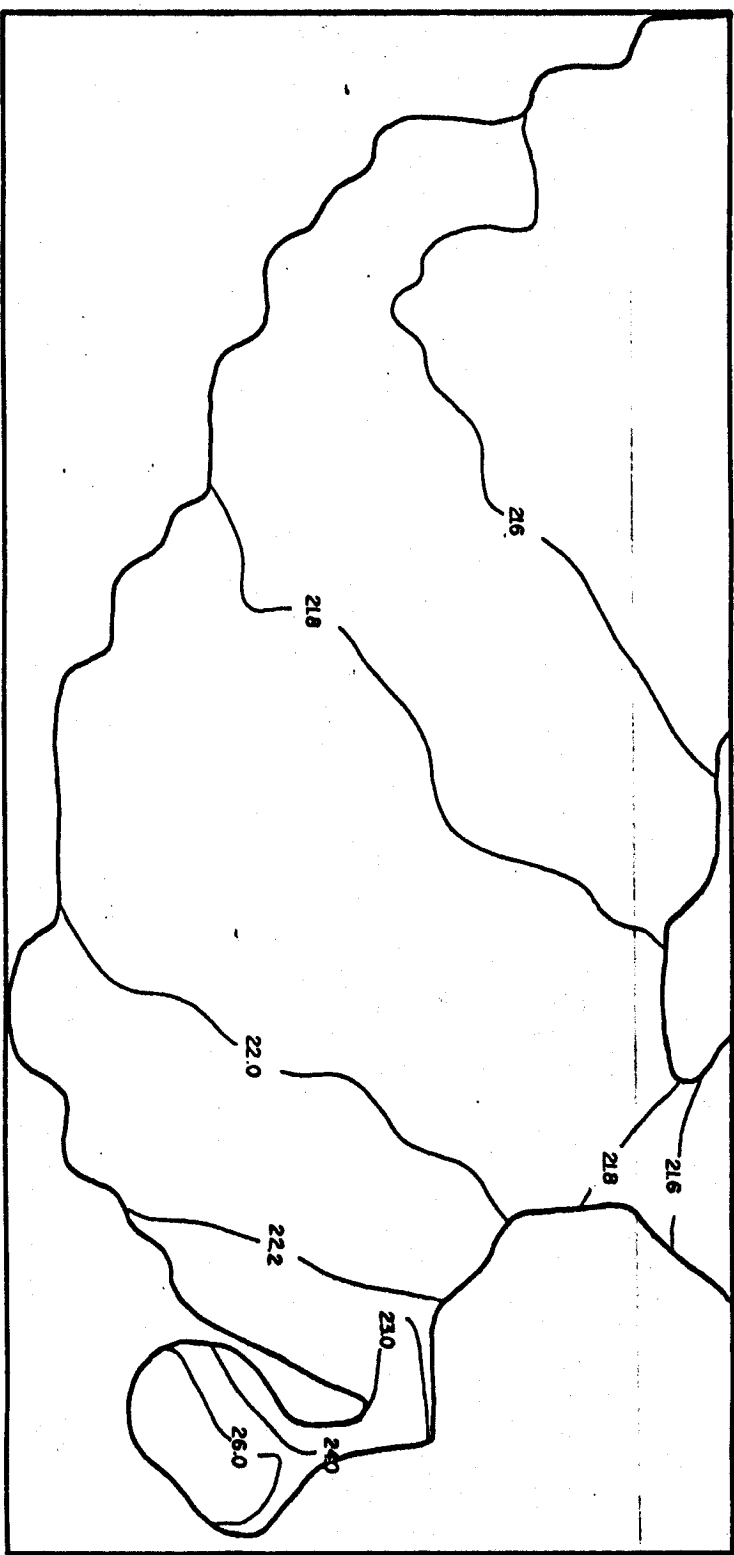


Fig.40.-Distribución de elevaciones máximas en un período de la componente M2 de la marea.

\* RETRASOS DE LA PLEAMAR \* BLP

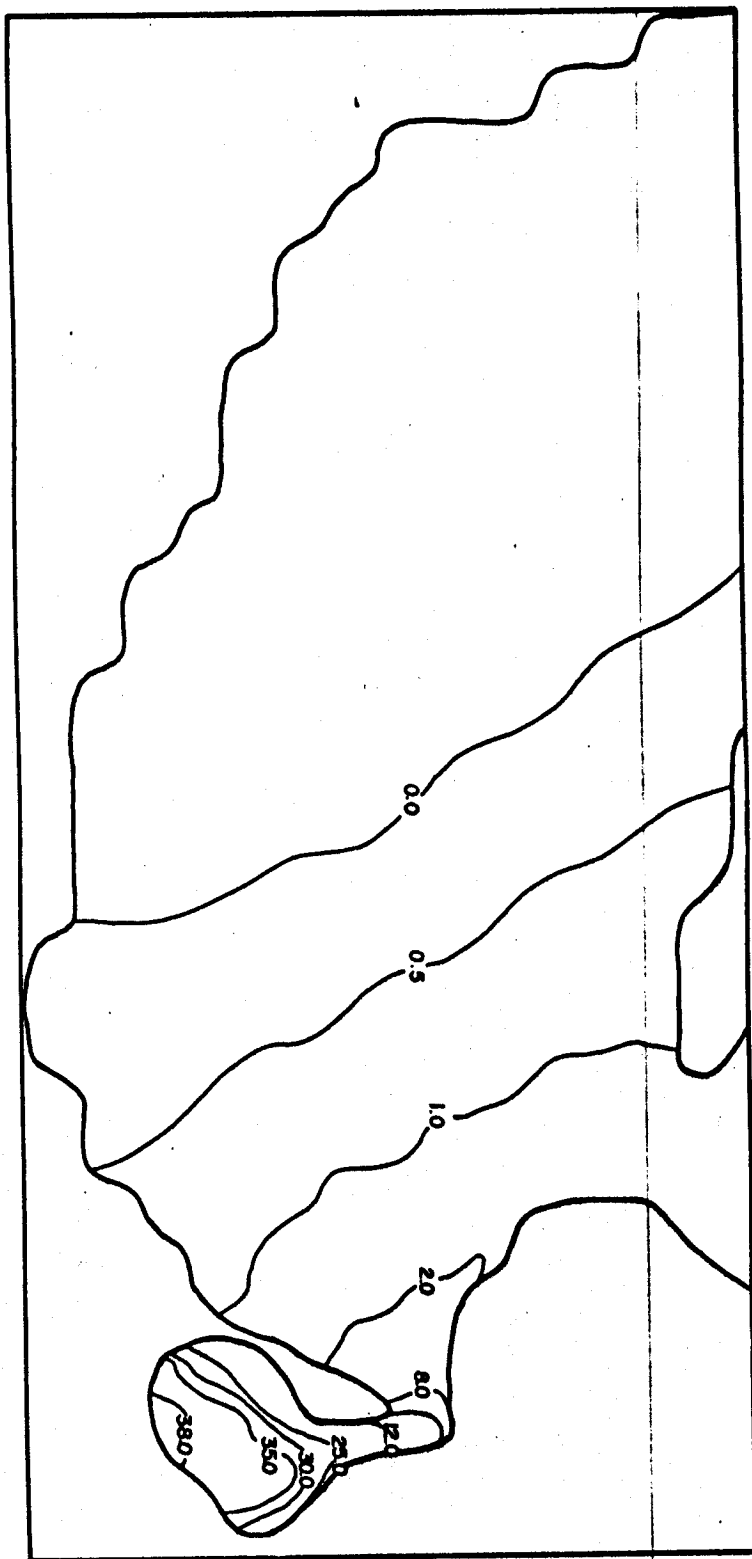


Fig.41.-Retrasos de la pleamar en un período de la componente M2 de la marea.

TRANSPORTE RESIDUAL

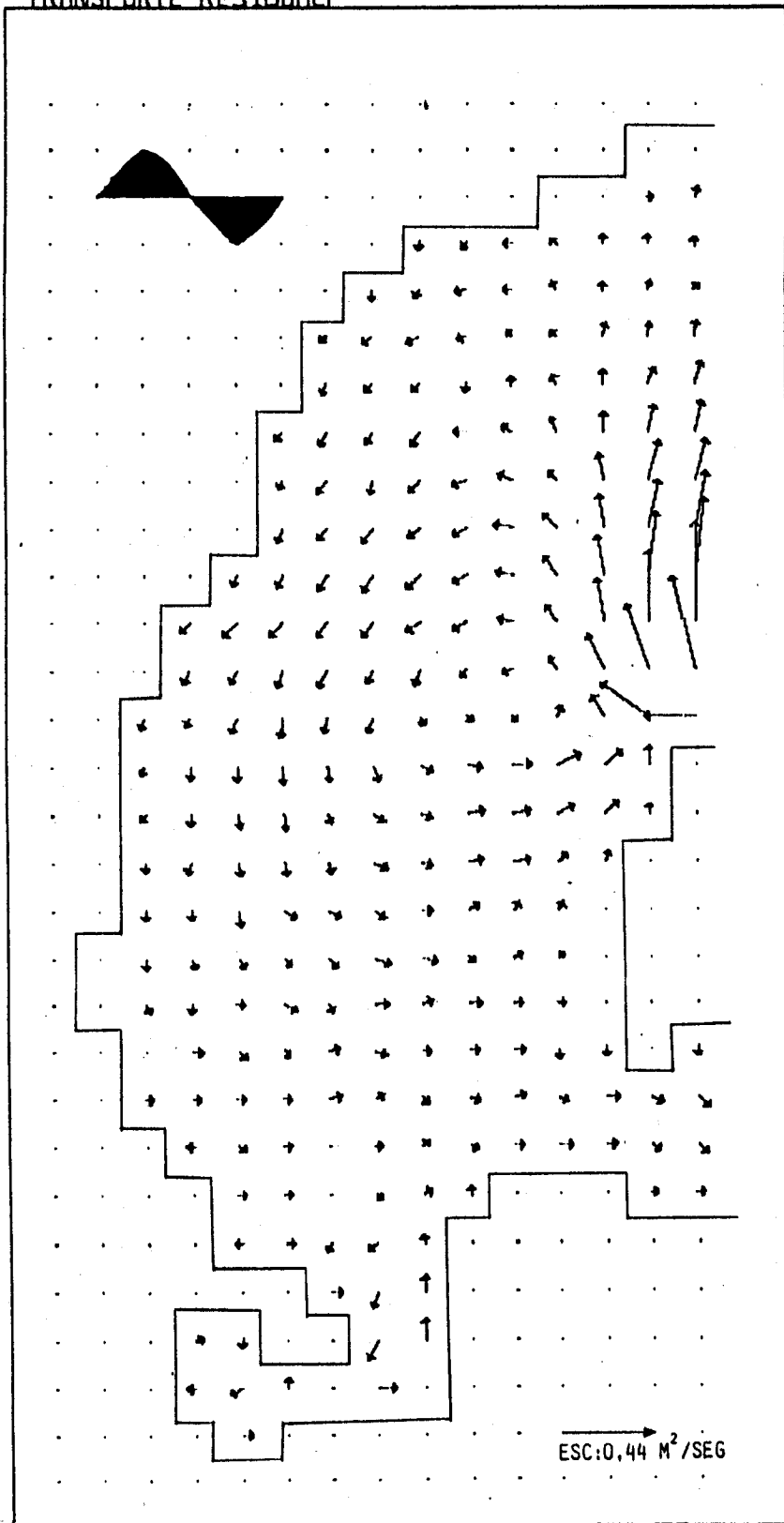


FIG.42.-DISTRIBUCION DE TRANSPORTE RESIDUAL, AL FINALIZAR EL PERIODO DE LA COMPONENTE M2 DE LA MAREA.

## 7 DISCUSION.

La parte profunda de la Bahía de La Paz responde casi en forma sinóptica a la perturbación de la componente M2 de la marea.

El retraso en la presentación del máximo o el mínimo de la curva de marea, en orden de importancia, es debido al tiempo que tardan en llenarse o vaciarse las zonas de almacenamiento y en segundo lugar, al efecto de fricción (Fig. 41).

Analizando las gráficas de velocidades en la Ensenada de La Paz se puede observar una circulación semejante a la encontrada por Jiménez Illescas, (1983) (Figs. 38a y 38e).

En los lugares someros de la Bahía las velocidades son altas, mientras que en la parte profunda son pequeñas (Fig. 38d).

El transporte de agua tiene un comportamiento inverso a la distribución de velocidades. En las partes someras el transporte es pequeño y en las partes profundas es grande, esto es debido a la sección transversal de los elementos de volumen (Fig. 39d).

La variación de la superficie libre es más pronunciada en la Ensenada de La Paz y en sus alrededores debido a que es la parte más somera de la Bahía (Figs. 37b y 37f).

La Ensenada de La Paz cuenta con un nivel más alto de agua que el resto de la Bahía, en el segundo, tercero, cuarto y quinto octavo del período de la M2, esto genera corrientes de refluo en este lugar para este intervalo de tiempo (Figs. 37b, 37c, 37d, 37e).

En el primer, sexto, séptimo y último octavo del período de la M2, se generan corrientes de flujo en la Ensenada de La Paz, debido a que esta tiene un nivel de agua más bajo que la Bahía (Figs. 37a, 37f, 37g, 37h).

En el segundo octavo del período de la M2, se muestra una situación interesante. La Ensenada de La Paz continúa llenándose mientras que por el canal de San Lorenzo la Bahía se está vaciando, esto confirma el retraso en la onda de marea.

En la parte Norte de Isla Partidase presenta una corriente de flujo, dado que la Bahía se ha llenado, esto genera un giro de refluo en la parte de Cabeza de Mechudo en sentido de las manecillas del reloj (Fig. 39b).

En el sexto octavo del período de la M2, se muestra una situación de interés. La Ensenada de La Paz se está vaciando mientras que por canal de San Lorenzo la Bahía se está llenando, esto genera un giro de reflujos en la parte Norte de la Bahía en sentido contrario de las manecillas del reloj (Fig. 39f).

La Bahía se está llenando en el primero, séptimo y último octavo del período de la M2, debido a que cuenta con un nivel más bajo de agua que el Golfo de California. El proceso de vaciado se efectúa en el tercer, cuarto y quinto octavo del período de la M2, cuando la Bahía tiene el nivel de agua más alto que el Golfo de California.

La magnitud de la distribución de velocidades en la Bahía es modificada por variaciones en la batimetría, el coeficiente de fricción en el fondo y el coeficiente horizontal de viscosidad (Figs. 43 a 47)

CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE  
CIENCIAS MARINAS  
BIBLIOTECA  
I.P.N.  
DONATIVO



CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE  
CIENCIAS BÁSICAS  
**BIBLIOTECA**  
L.I.N.  
DONATIVO

DISTRIBUCION RE VELOCIDADES A LA MITAD DEL PERIODO DE LA  
COMPONENTE M2 DE LA MAREA PARA DIFERENTES COEFICIENTES DE  
FRICCION EN EL FONDO, CDEFICIENTES DE VISCOSIDAD  
HORIZONTAL Y MALLAS DE BATIMETRIA

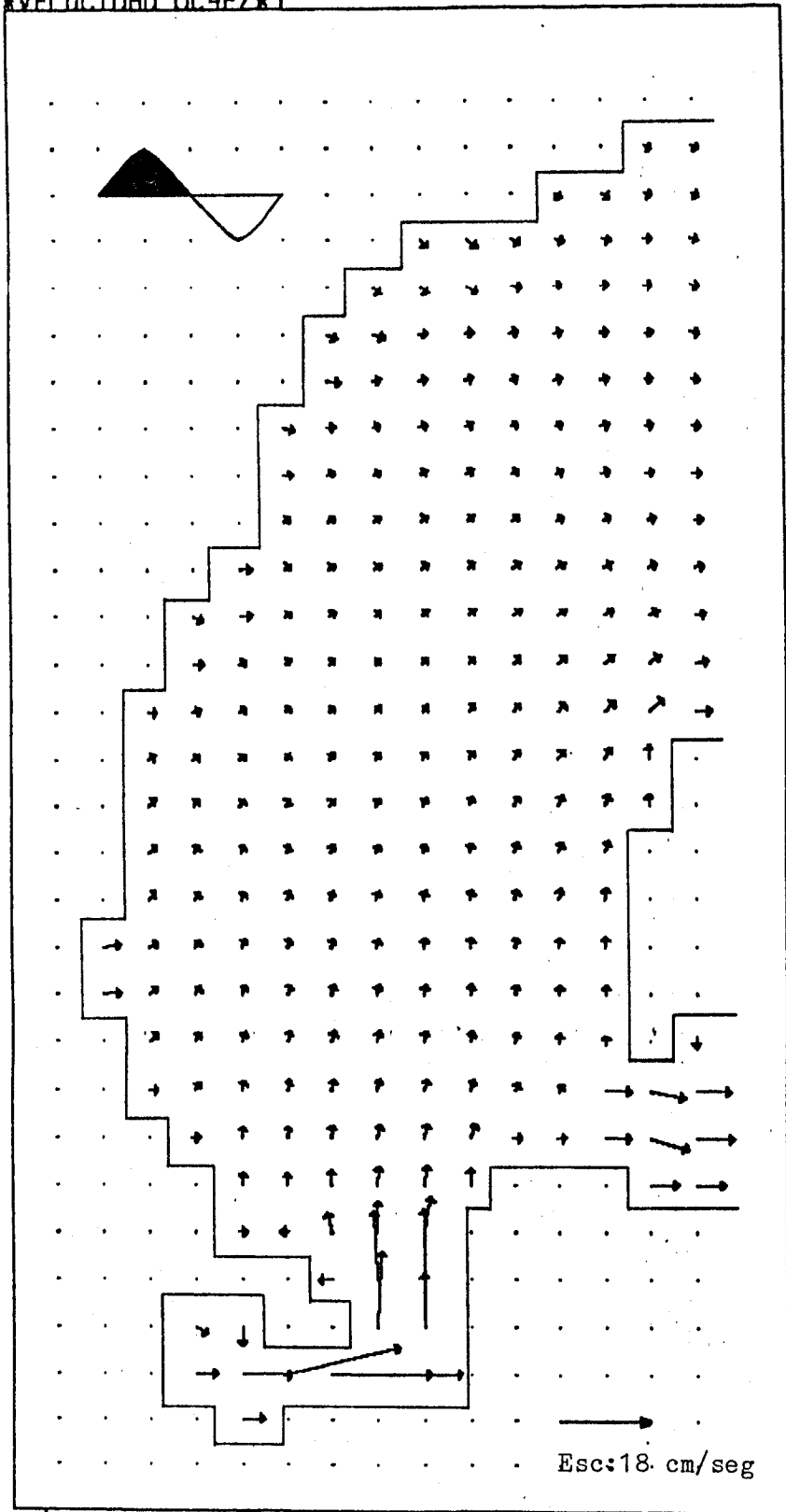


Fig.43.-Distribución de velocidades a la mitad del período de la componente  $M_2$  de la marea con  $R=0.003$ ,  $AHTL=5 \times 10^{-4}$  m/seg y la malla batimétrica BLP.

CENTRO DE INVESTIGACIONES  
CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS  
BID  
I. N. S. T. C. A.  
DONATIVO

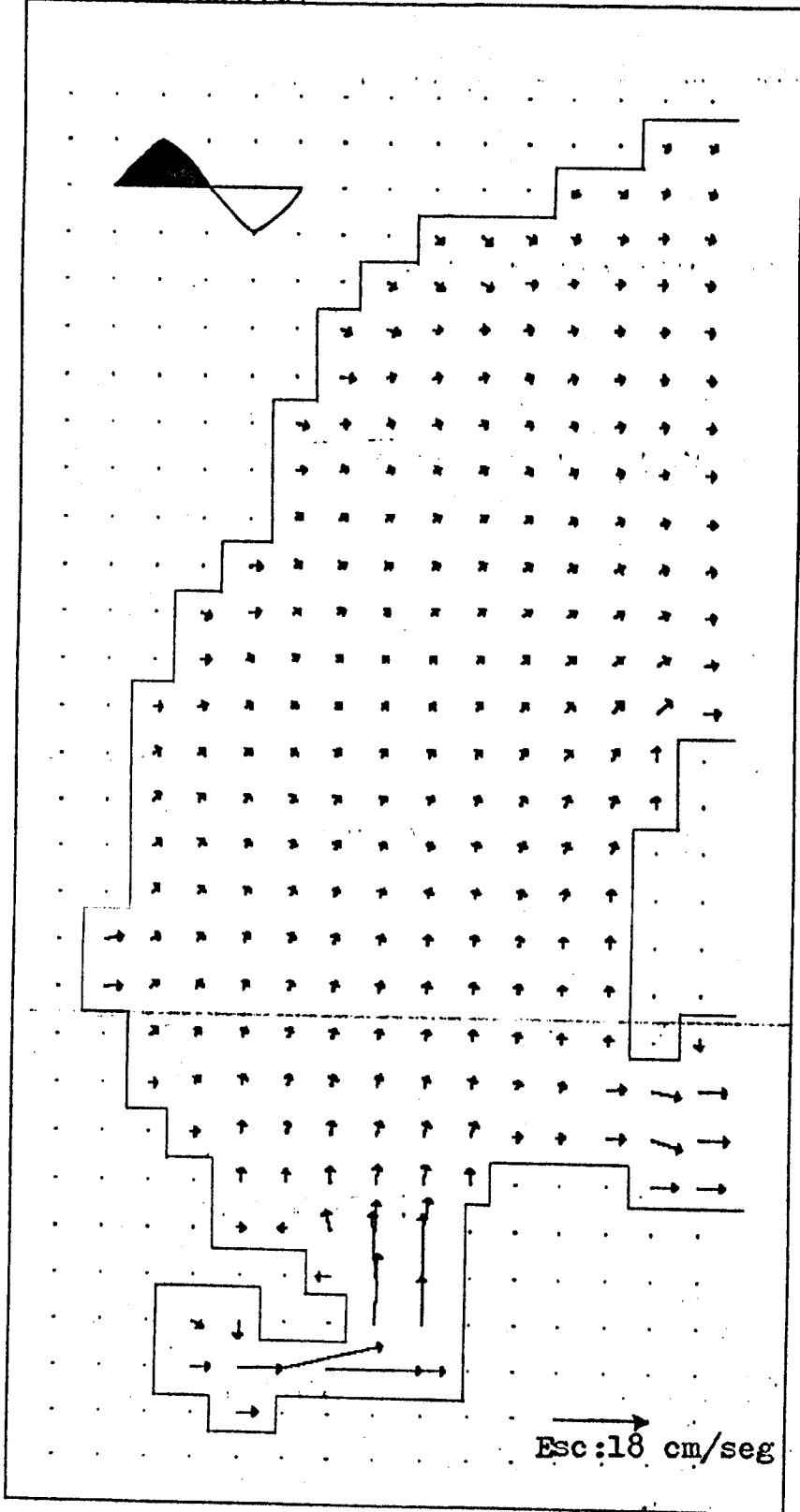


Fig.44.-Distribución de velocidades a la mitad del período de la componente M2 de la marea con  $R=0.008$ ,  $AHTL=5 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{seg}$  y la malla batimétrica BLP.

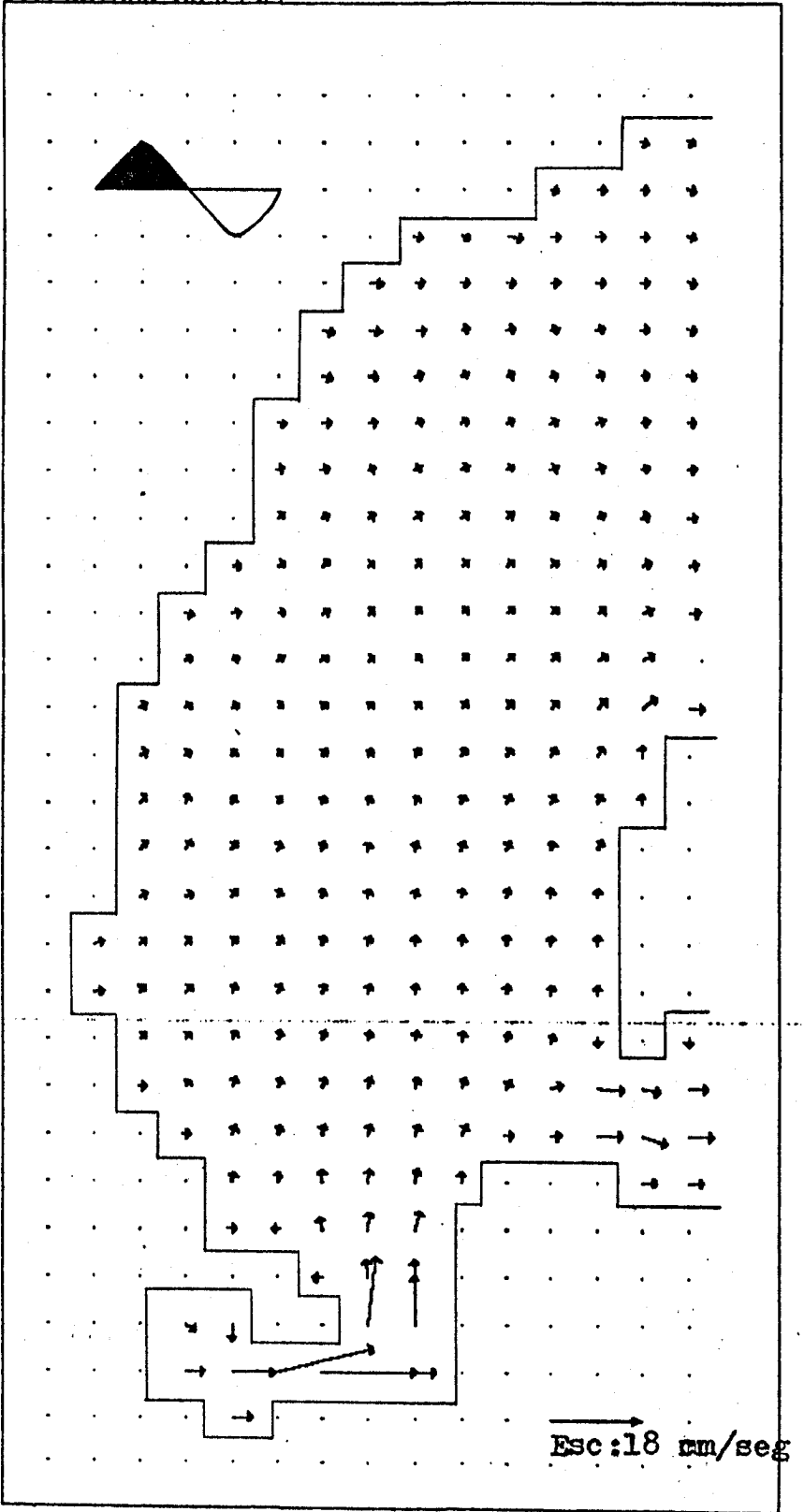


Fig.45.-Distribución de velocidades a la mitad del período de la componente  $M_2$  de la marea con  $R=0.008$ ,  $AHTL=5 \times 10^{-4}$  m/seg y la malla batimétrica BLP1.

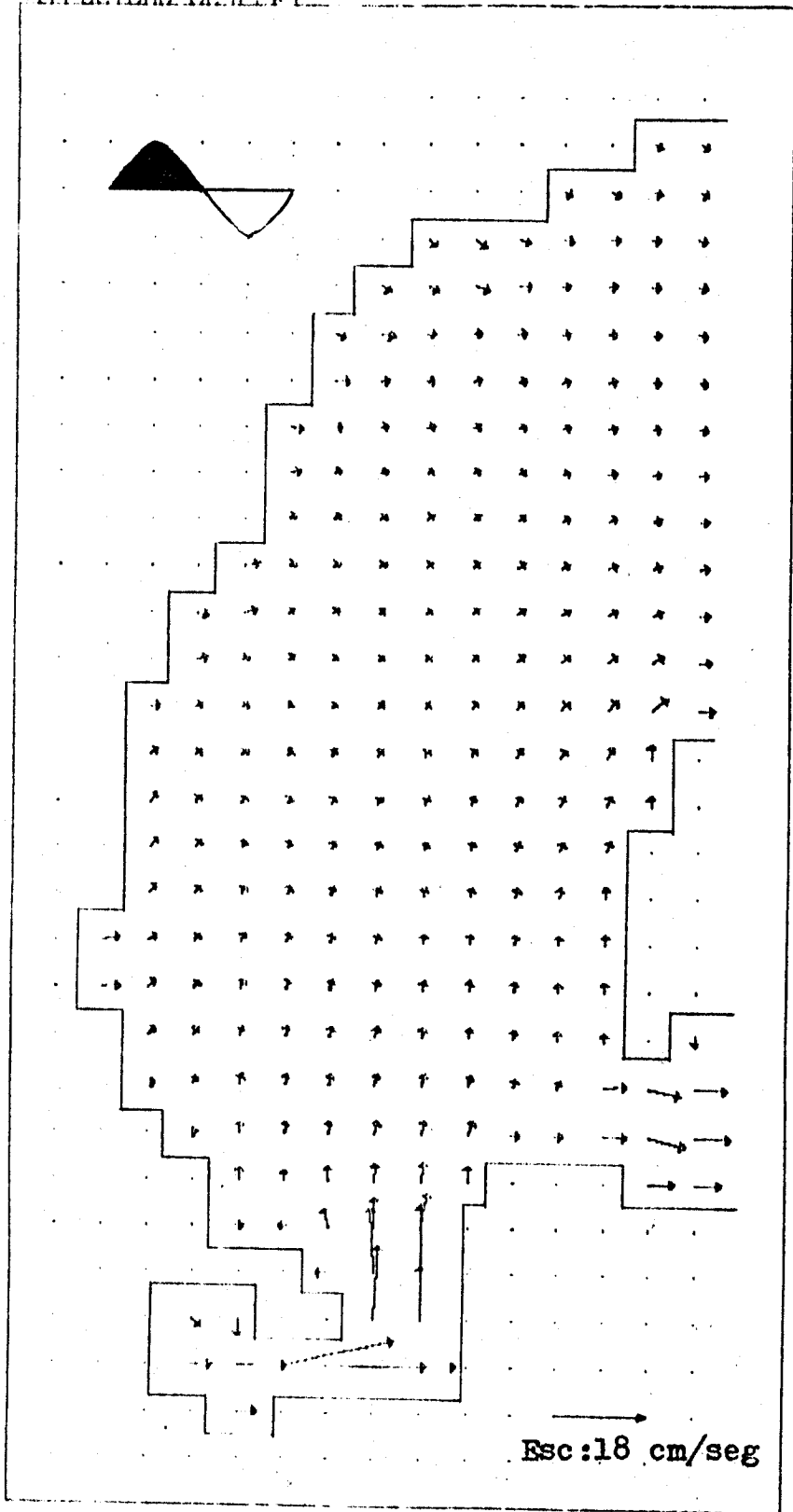


Fig.46.-Distribución de velocidades a la mitad del periodo de la componente  $M_2$  de la marea con  $R=0.003$ ,  $AHTL=1 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg}$  y la malla batimétrica BLP.

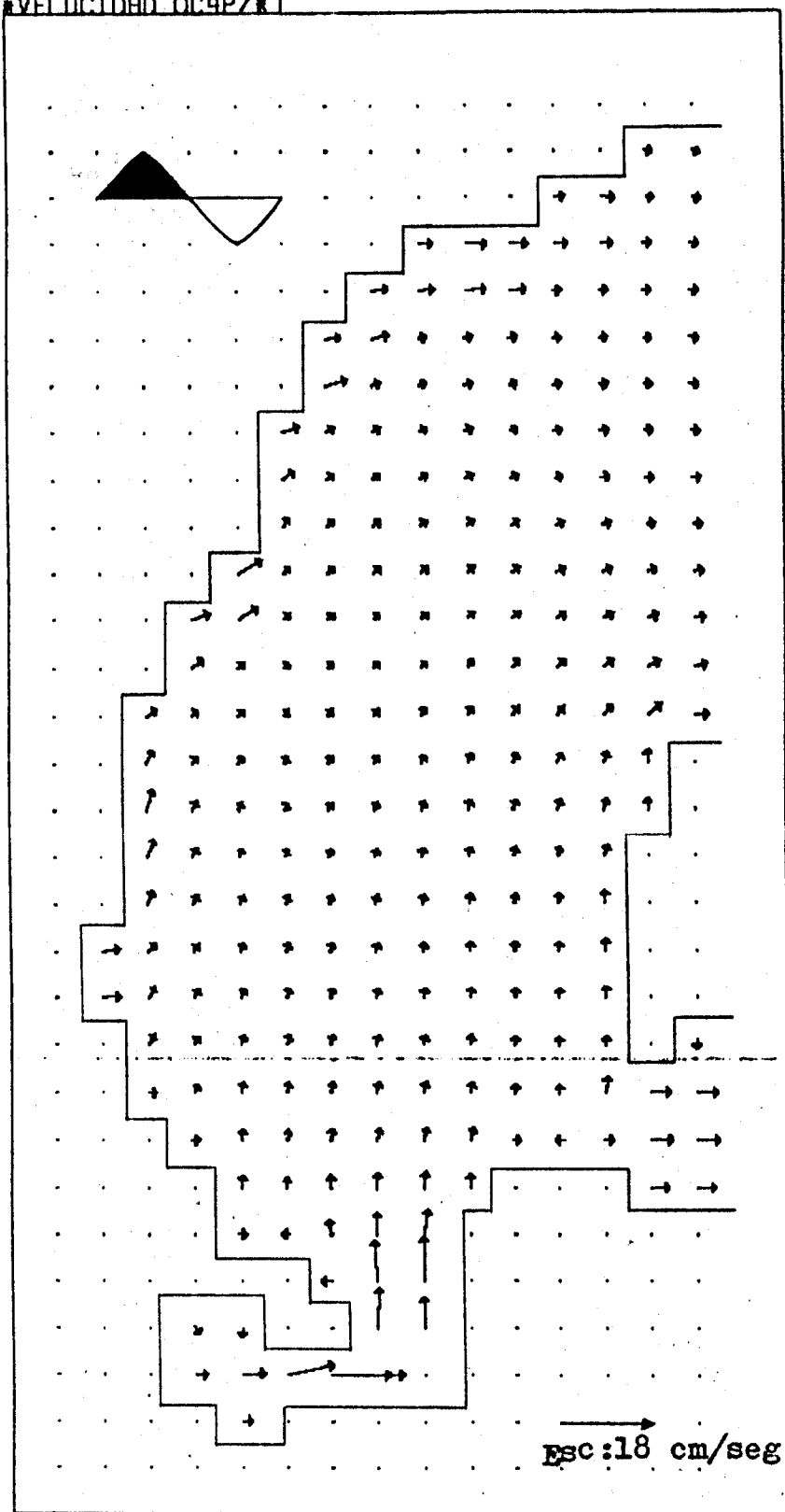


Fig.47.-Distribución de velocidades a la mitad del período de la componente  $M_2$  de la marea con  $R=0.003$ ,  $AHTL=1 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{seg}$  y la malla batimétrica BCP.

## 8 CONCLUSIONES.

Este trabajo se considera una herramienta Útil de diagnóstico de **propiedades hidrodinámicas**, aplicada a sistemas discretizados en una malla regular de puntos.

El modelo aquí aplicado es sensible a la batimetría, la turbulencia y a la fricción en la forma siguiente: la velocidad se disminuye al aumentar el coeficiente de fricción en el **fondo**, el coeficiente horizontal de viscosidad, y la profundidad (Fig5.43 a 47).

Las velocidades máximas de marea se encuentran en la Ensenada de La **Paz**, Canal de San **Lorenzo** y en la parte Norte de Isla Partida, que funciona también como un canal de circulación, con valores del orden de **24.27 cm/seg**, **6.73 cm/seg** y **3.04 cm/seg** respectivamente.

Las velocidades de marea disminuyen en la **parte profunda** de la **Bahía** hasta aproximadamente **0.50 cm/seg** y son nula5 en la línea de costa (**condición de frontera**).

El transporte de agua tiene una distribución similar a la distribución de velocidades siendo máximo en la parte5 más profundas de la Bahía y **mínimo** en la partes **más someras**, con valores del orden de **2.80 m<sup>2</sup>/seg** y **0.10 m<sup>2</sup>/seg** respectivamente.

Los resultados en general concuerdan con las mediciones de variación superficial y velocidades de la región (**Figs. 15 a 36**). Las discrepancias que se pueden presentar con respecto a estas, son **pequeñas** y pueden explicarse por la diferencia entre una medición **sinóptica** de la Bahía y la5 campañas efectuadas, que proporcionaron las datos base para la5 condiciones de frontera. Causante de estas leves discrepancias pueden ser los errores introducidos por la **esquemmatización**, con lo cual se pasa de una **situación continua** a una situación discretas indispensable para **trabajar** en la simulación utilizando como herramienta las modernas computadoras.

Los resultados de este **trabajo** muestran la gran variabilidad en velocidades, transporte de agua y alturas del nivel del agua en la Bahía de La Paz en intervalos de tiempo **muy cortos**, ya que se observan cambio5 en las condiciones hidrodinámicas del orden de **minutos**. Esto demuestra que un estudio de la Bahía en forma de **crucero**, no puede ser considerado **sinóptico**, y a que el campo escalar medido es deformado por el campo vectorial de corrientes

que lo afecta.

La deformación **del** campo de mediciones puede **ser** corregida calculando la excursión de las partículas, lo que implica que debe ser simulado el campo de corrientes para la fase específica de la marea en la que cada parámetro fue medido, ya que la distribución de corrientes se encuentra en continuo cambio.

El conocimiento de las condiciones **hidrodinámicas** es primordial para dar una imagen real del campo de mediciones fisicoquímicas y de las características **biológicas** de esta área de estudio. Es por esto **que, es** indispensable el estudio interdisciplinario de este cuerpo de agua costero.

## 9 SUGERENCIAS.

Se recomienda tener especial cuidado en la delimitación de la frontera del **área**, así como en la determinación del tamaño de la malla regular de puntos, de lo cual depende la estabilidad del modelo.

Se sugiere que además de la **M2**, se consideren otros armónicos y el efecto del viento, para dar una **representación** real del comportamiento de la marea en la Bahía de La Paz.

Es primordial contar con una batimetría representativa del cuerpo de agua en estudio, por lo cual se recomienda realizar un levantamiento batimétrico en la **Bahía**, dado que los datos que existen deben ser actualizados.

Es importante considerar el **sistema** de corrientes en la Bahía, esto **por** sus múltiples aplicaciones; un **ejemplo** sería para decidir la hora y la ubicación de emisores de aguas negras, con lo cual se evitaría la acumulación y **sedimentación** de sustancias tóxicas en estas aguas.

El sistema de corrientes en la Bahía debe ser considerado para determinar la distribución de plancton, las áreas de mayor productividad y el comportamiento de los procesos de sedimentación en este cuerpo de agua,



## 10 BIBLIOGRAFIA.

Banks, J. E. , 1967. A numerical model to study tides and surges in river-shallow sea combination, M. Sc. Thesis, University of Liverpool.

Banks, J. E. , 1973. A mathematical model of a river-shallow sea system used to investigate tide, surge and their interaction in the Thames-Southern North sea region. Phil. Trans. R. Soc. Lond. A 275, 567-609.

Cervantes, D. R. , Guerrero, R. y Escalona, R. , 1977. Análisis de la variación diurna de 105 principales parámetros Físicos Químicos en la Ensenada de La Paz, B. C. S. CICIMAR. 1: 10-14.

Cervantes, D. R. , 1981. Distribución de nutrientes en la Ensenada de La Paz, B. C. S. , durante el período Primavera-Verano 1981. Tesis de Licenciatura. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. La Paz, B. C. S. , México.

Christian Le Provost and Gilles Rougier, 1981. Numerical Modeling of the Harmonic Constituents of the Tides, with Applications to the English Channel. Journal of Physical Oceanography. Volume 11. Number 8, pp. 1123-1138.

Courant, R. , Friedrichs, K. O. & Lewy, H. , 1928. Über die Partiellen Differenzgleichungen der Mathematischen Physik. Math. Annln 100, 32-74.

Cruz-Orozco, R. , Godínez, Orta, L. , Nava, Sánchez, E. y Rojo, García, P. (Prensa). Topografía, Hidrología y Sedimentos de las Márgenes de la Laguna de La Paz, Baja California Sur. Revista Científica. UABCS.

Cruz-Orozco, R. y Godínez, Orta, L. (Preparación). Determinación de la vulnerabilidad de la Ensenada de La Paz, B. C. S. , al impacto de derrames.

Del Valle, I. , 1979. Aplicación de un Modelo Numérico y Análisis de Condiciones Hidrodinámicas en Bahía San Quintín, B. C. (Tesis de Maestría, CICESE).

Díaz, E. y Espinoza, M. , 1979. Aspectos Sedimentológicos en las 5 Lagunas, Enfermería y Balandra en la Bahía. Informe de labores, 1979. Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California Sur, A. C.

Díaz, E., Padilla, G. y Pedrín, S. 1981. **Sedimentación** reciente en el Estero de Enfermería de la Bahía de La Paz, B. C. S., México. Informe de labores, 1981. Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California Sur, A.C.

Dressler, R., 1981. Investigación sobre mareas y efecto del viento en el Golfo de California, mediante un modelo hidrodinámico-numérico (HN). Sammlung von Publikationen Dressler. nr. 2.

Dressler, R., 1982. Investigación sobre la constituyente M2 de la marea y la circulación forzada por el viento en la Ensenada de La Paz, Baja California, mediante un modelo hidrodinámico numérico (HN). Sammlung von Publikationen Dressler, nr. 3.

Espinoza, A. J., 1977. Los principales Parámetros Físico-Químicos de las aguas de la Ensenada de La Paz, Baja California Sur. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, Baja California, México.

García, P. J., 1978. La Distribución Superficial de nitratos y silicatos en La Ensenada de La Paz, Baja California Sur. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, Baja California, México.

Godin, G., 1972. The analysis of tides. University of Toronto Press.

Grijalva, N., 1972 Tidal Computations in the Gulf of California 1. (Geofísica Internacional, Vol. 12, No. 2, pp. 13-34, México, D. F.)

Hansen, W., 1962a. Hydrodynamic methods applied to oceanographic problems. (Mitteilungen des Xnstitut fuer Meereskunde der Universitaet Hamburg, I.)

Hansen, W., 1962b. Tides-the sea, ideas and observations on progress in the study of the sea. Vol. 1, M. N. Hill. Intersc. Publ. Xnc., New York.

Heaps, N. S., 1969. A two-dimensional numerical sea model. Phil. Trans. R. Soc. Lond. A 265, 93-137.

Heaps, N. S., 1967. Storm surges. Oceanogr. Mar. Biop. Ann. Rev. 5, 11-47.

Heaps, N. S. & Ramsbottom, A. E., 1966. Wind effects on the water in a narrow-layered lake. Phil. Trans. R. Soc. Lond. A 259, 391-430.

Hermann F., 1969. Marine Biology. University of Washington

Press, Ed.

Instituto de Geofísica, 1985. Tabla de Predicción de Mareas. Universidad Nacional Autónoma de México. pp. 112-127.

Jiménez I. A. R. , 1983. Aplicación de un modelo hidrodinámico numérico a la Ensenada de La Paz, B. C. S. Tesis, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada.

Lauwerier, H. A. , 1961. Some recent work of the amsterdam mathematical centre on the hydrodynamic of the north sea. Proc. Symp. Math. -Hydro. Methods of phys. Oceanograph y. Mitt. Inst. Meeresk. Univ. Hamburg 1, 13-24.

Lechuga, D. H. C. , 1978. La Producción Orgánica Primaria en la Ensenada de la Paz, Baja California Sur. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, Baja California, México.

McCraken, D. D. y Dorn, W. S. , 1978. Métodos numéricos y programación Fortran. E. Limusa, México.

Morales, G. E. , 1982. Mareas y corrientes en la Ensenada de La Paz, B. C. S. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, Baja California, México. 73 pp.

Murray, M. T. , 1963. The analysis and prediction of tides with a digital computer. M.Sc. Thesis, University of Liverpool.

Nihaul Jacques C. J. , 1975. Modelling of marine systems. Oceanography Series, 1975, 10(2), 41-67, Elsevier Publishing Company.

Otter, J. R. H. & Day, A. S. , 1960. Tidal flow computations. Engineer, Lond. 209, 177-182.

Pico, E. , 1975. Informe preliminar del Programa de Estudios Ecológicos de Bahía Concepción, Estero san Lucas y Bahía de La Paz, B. C. S. Reporte Investigaciones C. I. B. 1975. 58-66 pp.

Proudman, J. , 1953. Dynamical oceanography, pp. 17, 45, 162. London: Methuen.

Proudman, J. , 1955a. The propagation of tide and surge in an estuary. Proc. R. Soc. Lond. A 231, 8-24.

Proudman, J. , 1955b. The effect of friction on a progressive wave of tide and surge in an estuary. Proc. R. Soc. Lond. A 233, 407-418.

Proudman, J. , 1957. Oscillation of tide and surge in an estuary

of finite length. *J. Fluid Mech.* **2**, 371-382.

**Gurashee, G. S.**, 1970. Numerical methods in tidal analysis and prediction. Ph. D. Thesis, University of Liverpool.

**Richtmyer, R. D.**, 1957. Difference methods for initial-value problems, P. 238. New York and London: Interscience.

**Rossiter, J. R.**, 1957. Research on methods of forecasting storm surges on the east and south coasts of Great Britain. *Q. J. R. Met. Soc.* **85**, 262-277.

**Rossiter, J. R.**, 1961. Interaction between tide and surge in the Thames. *Geophys. J. R. Astr. Soc.* **6**, 29-53.

**Rossiter, J. R. & Lennon, G. W.** 1965. Computation of tidal conditions in the Thames Estuary by the initial-value method. *Prnc. Instn. Civ. Engrs.* **31**, 25-56.

Secretaría de Marina, 1978. Derrotero de las costas sobre el océano Pacífico de México, América Central y Colombia. *Pub. S. M. No. 102*, México, D. F.

Secretaría de Marina, 1979. Estudio geográfico de la región de La Paz, B. C. S., México, D. F.

Secretaría de Programación y Presupuesto, 1985. Carta de Climas de La Paz. Dirección de Geografía del Territorio Nacional.

**Stoc k, G. G.**, 1976. Modelling of Tides and Tidal Dissipation in the Gulf of California (Tesis de Ph.D., University of California, San Diego. )

LISTA DE FIGURAS

CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE  
CIENCIAS MARINAS  
**BIBLIOTECA**  
**I.P.N.**  
DONATIVO

LISTA DE FIGURAS

Figura		Pagina
1	Localización geográfica de la zona de estudio	6
2	Localización del área de estudio	7
3	Representación de las mallas (Hv, Hu)	16
4	Representación del acoplamiento de las mallas (Hu, Hv, Z)	24
5	Distribución de isobatas en la Bahía de La Paz	25
6	Alturas de marea registradas en la primera campaña de mediciones	29
7	Alturas de marea registradas en la segunda campaña de mediciones	30
8	Alturas de marea registradas en Cabeza de Mechudo y Canal de San Lorenzo. Noviembre de 1985	32
9	Alturas de marea registradas en Cabeza de Mechudo y San Juan de la Costa. Noviembre de 1985	33
10	Alturas de marea registradas en Cabeza de Mechudo y el Quelele. Noviembre de 1985	34
11	Alturas de marea registradas en Cabeza de Mechudo y Muelle Fiscal. Noviembre de 1985	35
12	Alturas de marea registradas en Cabeza de Mechudo y Cicimar. Noviembre de 1985	36
13	Alturas de marea registradas en Cabeza de Mechudo y Cib. Noviembre de 1985	37
14	Velocidades registradas en canal de San Lorenzo. Noviembre de 1985	38
15	Alturas registradas de la componente M2 en Cabeza de Mechudo y Canal de San Lorenzo	44
16	Alturas registradas de la componente M2 en Cabeza de Mechudo y San Juan de la Costa	45
17	Alturas registradas de la componente M2 en Cabeza de Mechudo y el Quelele	46

18	Alturas registradas de la componente M2 en Cabeza de Mechudo y Muelle Fiscal	47
19	Alturas registradas de la componente M2 en Cabeza de Mechudo y Cicimar	48
20	Alturas registradas de la componente M2 en Cabeza de Mechudo y Cib	49
21	Alturas simuladas en Cabeza de Mechudo y Canal de San Lorenzo	51
22	Alturas simuladas en Cabeza de Mechudo y San Juan de la Costa	52
23	Alturas simuladas en Cabeza de Mechudo y el Quelele	53
24	Alturas simuladas en Cabeza de Mechudo y Muelle Fiscal	54
25	Alturas simuladas en Cabeza de Mechudo y Cicimar	55
26	Alturas simuladas en Cabeza de Mechudo y Cib	56
27	Alturas de la componente M2 registradas y simuladas en Cabeza de Mechudo	58
28	Alturas de la componente M2 registradas y simuladas en Canal de San Lorenzo	59
29	Alturas de la componente M2 registradas y simuladas en San Juan de la Costa	60
30	Alturas de la componente M2 registradas y simuladas en el Quelele	61
31	Alturas de la componente M2 registradas y simuladas en el Muelle Fiscal	62
32	Alturas de la componente M2 registradas y simuladas en Cicimar	63
33	Alturas de la componente M2 registradas y simuladas en el Cib	64
34	Velocidades registradas de la componente M2 en Canal de San Lorenzo	66
35	Velocidades simuladas de la componente M2 en Canal de San Lorenzo	67
36	Velocidades registradas y simuladas de la componente M2 en Canal de San Lorenzo	68

37a	Distribución de la superficie libre en el primer octavo del período de la componente M2	70
37b	Distribución de la superficie libre en el segundo octavo del período de la componente M2	71
37c	Distribución de la superficie libre en el tercer octavo del período de la componente M2	72
37d	Distribución de la superficie libre a la mitad del período de la componente M2	73
37e	Distribución de la superficie libre en el quinto octavo del período de la componente M2	74
37f	Distribución de la superficie libre en el sexto octavo del período de la componente M2	75
37g	Distribución de la superficie libre en el séptimo octavo del período de la componente M2	76
37h	Distribución de la superficie libre al final del período de la componente M2	77
38a	Distribución de velocidades en el primer octavo del período de la componente M2	79
38b	Distribución de velocidades en el segundo octavo del período de la componente M2	80
38c	Distribución de velocidades en el tercer octavo del período de la componente M2	81
38d	Distribución de velocidades a la mitad del período de la componente M2	82
38e	Distribución de velocidades en el quinto octavo del período de la componente M2	83
38f	Distribución de velocidades en el sexto octavo del período de la componente M2	84
38g	Distribución de velocidades en el séptimo octavo del período de la componente M2	85
38h	Distribución de velocidades al final del período de la componente M2	86
39a	Distribución de transporte en el primer octavo del período de la componente M2	88
39b	Distribución de transporte en el segundo octavo del período de la componente M2	89



39c	Distribución de transporte en el tercer octavo del período de la componente M2	90
39d	Distribución de transporte a la mitad del período de la componente M2	91
39e	Distribución de transporte en el quinto octavo del período de la componente M2	92
39f	Distribución de transporte en el sexto octavo del período de la componente M2	93
39g	Distribución de transporte en el séptimo octavo del período de la componente M2	94
39h	Distribución de transporte al final del período de la componente M2	95
40	Distribución de elevaciones máximas	97
41	Retrasos de la pleamar	98
42	Distribución de transporte residual	99
43	Distribución de velocidades a la mitad del período con R=0.003, AHTL=5. E-4 y BLP	104
44	Distribución de velocidades a la mitad del período con R=0.008, AHTL=5. E-4 y BLP	105
45	Distribución de velocidades a la mitad del período con R=0.008, AHTL=5. E-4 y BLP1	106
46	Distribución de velocidades a la mitad del período con R=0.003, AHTL=1. E-3 y BLP	107
47	Distribución de velocidades a la mitad del período con R=0.003, AHTL=1. E-2 y BLP	108

CENTRO DE INVESTIGACIONES Y SERVICIOS DE  
 BIODIVERSIDAD Y SISTEMAS DE  
**BIBLIOTECA**  
**I.N.I.**  
**DONATIVO**

MALLA HV DE BAHIA DE LA PAZ (BLP).

0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	10.	10.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	10.	10.	30.	30.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	5.	5.	10.	20.	30.	146.	155.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	5.	10.	10.	20.	148.	189.	212.	219.
0.	0.	0.	0.	0.	5.	10.	49.	90.	144.	202.	245.	269.	275.
0.	0.	0.	0.	0.	5.	37.	71.	119.	180.	240.	284.	307.	314.
0.	0.	0.	0.	5.	31.	57.	95.	147.	207.	263.	305.	325.	332.
0.	0.	0.	0.	10.	47.	79.	120.	171.	226.	275.	308.	324.	329.
0.	0.	0.	0.	33.	64.	99.	140.	187.	235.	272.	294.	302.	304.
0.	0.	0.	5.	50.	85.	122.	158.	197.	231.	254.	262.	260.	258.
0.	0.	5.	10.	77.	115.	148.	176.	200.	220.	227.	219.	206.	200.
0.	0.	10.	61.	104.	143.	171.	189.	201.	204.	195.	172.	147.	136.
0.	8.	38.	74.	118.	157.	182.	193.	193.	183.	161.	123.	76.	51.
0.	12.	43.	82.	123.	158.	180.	186.	180.	160.	128.	81.	0.	0.
0.	10.	41.	81.	117.	150.	169.	173.	163.	140.	103.	55.	0.	0.
0.	8.	35.	71.	106.	135.	153.	157.	145.	120.	81.	35.	0.	0.
0.	13.	35.	61.	90.	115.	132.	135.	124.	99.	59.	0.	0.	0.
4.	15.	36.	54.	74.	94.	108.	112.	101.	79.	45.	0.	0.	0.
3.	14.	29.	45.	62.	77.	87.	90.	81.	63.	36.	0.	0.	0.
0.	8.	23.	36.	49.	62.	70.	71.	64.	52.	30.	0.	0.	14.
0.	5.	16.	27.	40.	49.	54.	53.	45.	36.	25.	3.	3.	39.
0.	0.	9.	20.	31.	38.	30.	35.	23.	13.	10.	3.	3.	37.
0.	0.	0.	13.	21.	27.	27.	20.	0.	0.	0.	0.	3.	20.
0.	0.	0.	6.	10.	16.	16.	9.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	8.	9.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	3.	0.	0.	0.	4.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	4.	4.	3.	3.	3.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	0.	3.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.

MALLA HU DE BAHIA DE LA PAZ (BLP).

0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	10.	10.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	10.	10.	30.	30.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	5.	5.	10.	20.	30.	169.	185.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	5.	10.	10.	20.	151.	200.	233.	247.
0.	0.	0.	0.	0.	5.	10.	43.	81.	133.	194.	248.	281.	295.
0.	0.	0.	0.	0.	10.	34.	63.	107.	162.	225.	278.	310.	324.
0.	0.	0.	0.	5.	27.	53.	86.	133.	189.	246.	292.	320.	332.
0.	0.	0.	0.	10.	41.	72.	108.	154.	207.	256.	292.	311.	318.
0.	0.	0.	0.	25.	56.	91.	129.	171.	215.	252.	275.	282.	283.
0.	0.	0.	5.	46.	81.	117.	151.	183.	214.	236.	243.	237.	231.
0.	0.	5.	10.	72.	111.	146.	173.	193.	208.	215.	205.	186.	171.
0.	0.	10.	51.	91.	134.	167.	188.	196.	197.	188.	164.	130.	102.
0.	4.	27.	59.	101.	142.	172.	189.	189.	180.	159.	124.	71.	0.
0.	4.	27.	62.	101.	139.	167.	180.	178.	162.	134.	93.	35.	0.
0.	3.	23.	55.	95.	129.	155.	166.	162.	144.	113.	70.	23.	0.
0.	4.	22.	48.	83.	113.	135.	147.	144.	124.	91.	45.	0.	0.
0.	7.	27.	46.	70.	94.	113.	124.	120.	102.	72.	27.	0.	0.
3.	9.	26.	40.	58.	76.	92.	99.	97.	82.	56.	20.	0.	0.
0.	5.	20.	33.	48.	63.	74.	80.	77.	66.	46.	17.	0.	0.
0.	4.	15.	25.	37.	50.	59.	63.	59.	51.	36.	18.	0.	23.
0.	0.	9.	18.	29.	40.	45.	46.	40.	30.	21.	3.	3.	44.
0.	0.	0.	11.	22.	29.	34.	31.	20.	0.	0.	0.	3.	35.
0.	0.	0.	5.	13.	19.	22.	18.	9.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	9.	12.	9.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	5.	4.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	4.	5.	0.	0.	4.	4.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	0.	5.	4.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.

MALLA HV DE BAHIA DE LA PAZA (BLP1).

0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	-1.	64.	64.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	-1.	27.	27.	109.	109.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	-1.	27.	18.	5.	36.	128.	182.	182.
0.	0.	0.	0.	0.	-1.	5.	27.	73.	91.	182.	219.	256.	256.
0.	0.	0.	0.	-1.	5.	10.	21.	91.	128.	274.	384.	329.	329.
0.	0.	0.	0.	-1.	10.	21.	54.	128.	182.	347.	393.	365.	365.
0.	0.	0.	-1.	9.	18.	36.	73.	164.	237.	310.	387.	393.	393.
0.	0.	0.	-1.	36.	64.	91.	146.	164.	274.	347.	384.	402.	402.
0.	0.	0.	-1.	27.	54.	109.	164.	182.	329.	384.	374.	365.	365.
0.	0.	-1.	10.	21.	43.	128.	182.	201.	274.	347.	329.	274.	274.
0.	-1.	12.	27.	54.	109.	164.	201.	219.	246.	310.	256.	182.	182.
0.	-1.	36.	73.	146.	237.	237.	246.	246.	256.	274.	182.	128.	128.
-1.	18.	42.	73.	146.	252.	256.	246.	237.	219.	201.	146.	91.	91.
-1.	12.	54.	87.	146.	201.	237.	228.	219.	182.	164.	91.	-1.	0.
-1.	10.	47.	91.	146.	182.	210.	201.	201.	164.	128.	73.	-1.	0.
-1.	9.	27.	64.	128.	182.	210.	201.	192.	146.	109.	45.	-1.	0.
-1.	14.	32.	69.	91.	146.	182.	182.	182.	109.	91.	-1.	0.	0.
9.	29.	42.	58.	73.	91.	109.	146.	128.	91.	69.	0.	0.	0.
7.	29.	27.	54.	73.	87.	109.	109.	91.	73.	54.	-1.	0.	0.
-1.	12.	27.	43.	54.	73.	91.	91.	91.	73.	45.	-1.	-1.	36.
-1.	10.	18.	27.	45.	56.	64.	51.	54.	60.	10.	5.	10.	182.
0.	-1.	12.	21.	40.	49.	51.	47.	51.	36.	10.	5.	5.	182.
0.	0.	-1.	18.	27.	36.	36.	36.	-1.	0.	0.	-1.	10.	182.
0.	0.	-1.	10.	20.	21.	23.	23.	-1.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	0.	0.	-1.	20.	18.	-1.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	-1.	3.	-1.	0.	-1.	4.	-1.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	-1.	4.	4.	3.	3.	3.	-1.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	-1.	3.	-1.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.

MALLA HU DE BAHIA DE LA PAZA (BLP1).

0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	-1.	-1.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	-1.	-1.	36.	73.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	-1.	-1.	-1.	31.	91.	210.	146.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	-1.	18.	36.	27.	36.	109.	210.	210.
0.	0.	0.	0.	0.	-1.	9.	18.	54.	109.	219.	365.	310.	310.
0.	0.	0.	0.	0.	7.	14.	29.	54.	109.	219.	384.	365.	365.
0.	0.	0.	0.	-1.	5.	10.	21.	73.	146.	256.	365.	393.	393.
0.	0.	0.	0.	18.	18.	36.	73.	146.	237.	292.	347.	393.	393.
0.	0.	0.	0.	29.	54.	73.	100.	164.	246.	301.	365.	384.	384.
0.	0.	0.	-1.	27.	54.	109.	137.	182.	265.	310.	329.	374.	374.
0.	0.	-1.	5.	18.	36.	146.	155.	192.	256.	292.	292.	274.	274.
0.	0.	9.	27.	64.	128.	164.	182.	201.	237.	274.	256.	182.	182.
0.	-1.	27.	64.	91.	237.	252.	265.	237.	219.	219.	201.	137.	128.
0.	5.	18.	64.	91.	164.	210.	228.	219.	210.	182.	146.	91.	-1.
0.	10.	27.	64.	137.	182.	201.	219.	210.	182.	146.	109.	73.	0.
0.	5.	10.	64.	128.	182.	192.	201.	192.	173.	137.	91.	45.	0.
0.	5.	10.	54.	91.	146.	182.	182.	201.	164.	109.	62.	-1.	0.
-1.	21.	36.	54.	73.	109.	128.	164.	146.	118.	82.	69.	0.	0.
5.	18.	27.	45.	64.	73.	100.	109.	118.	82.	67.	36.	0.	0.
-1.	10.	21.	36.	54.	73.	91.	91.	100.	82.	73.	36.	0.	-1.
0.	9.	18.	27.	36.	54.	67.	73.	73.	69.	60.	10.	-1.	18.
0.	-1.	12.	18.	32.	49.	51.	54.	51.	45.	36.	5.	5.	182.
0.	0.	-1.	18.	27.	38.	42.	45.	42.	-1.	-1.	-1.	10.	182.
0.	0.	0.	10.	18.	23.	27.	29.	31.	0.	0.	0.	-1.	-1.
0.	0.	0.	-1.	-1.	18.	20.	20.	-1.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	-1.	-1.	0.	-1.	20.	20.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	4.	5.	-1.	-1.	4.	4.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	-1.	5.	4.	-1.	-1.	-1.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	0.	-1.	-1.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.