

CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE
CIENCIAS MARINAS

1. P. N.

BIBLIOTECA



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

CENTRO **INTERDISCIPLINARIO** DE CIENCIAS MARINAS

DEPARTAMENTO DE **OCEANOLOGIA**



CICIMAR

**MODELACION HIDRODINAMICA BIDIMENSIONAL
EN MALLA IRREGULAR EN EL VASO DE
PUERTO ESCONDIDO B.C.S.**

T E S I S

Que como uno de los requisitos
para obtener el grado de
MAESTRO EN CIENCIAS
Con Especialidad en Oceanografía **Física**

P r e s e n t a :

JORGE ANDRES FLORES ESTRADA

La Paz, B.C.S., Junio de **1988**

ESTE ESTUDIO FORMA PARTE DEL PROYECTO "ESTUDIOS
DE INTERACCION OCEANO ATMOSFERA EN LAS ESTACIONES
OCEANOGRAFICAS DEL PACIFICO A CARGO DEL INSTITUTO
OCEANOGRAFICO ' DE MANZANILLO (I.O.M.) PERTENECIENTE
A LA DIRECCION GENERAL DE OCEANOGRAFIA NAVAL DE LA
SECRETARIA DE MARINA,

EL VIO QUE EL AGUA CONTINUAMENTE
FLUIA Y FLUIA . NO OBSTANTE SIEMPRE
ESTABA AHÍ . SIEMPRE ERA LA MISMA
Y SIN EMBARGO EN CADA MOMENTO
... EL AGUA ERA NUEVA !

SIDDARTHA

(HERMAN HESSE)

I N D I C E

0.	RESUMEN	... 2
1.	INTRODUCCION.	... 3
2.	ANTECEDENTES.	... 4
3.	CARACTERISTICAS GENERALES DEL AREA DE ESTUDIO.	... 5
3.1	Características Geográficas.	... 5
3.2	Características Oceanográficas y Meteorológicas.	... 6
3.2.1	Corrientes.	... 6
3.2.2	Marea.	... 6
3.2.3	Viento.	... 7
3.2.4	Parámetros Físicos, Químicos y Biológicos.	... 8
4.	METODOLOGIA.	... 9
4.1	Ecuaciones Básicas.	... 9
4.2	Discretización de las Ecuaciones.	... 10
4.3	Análisis de Estabilidad.	... 14
5.	DESCRIPCION DE LOS RESULTADOS.	... 16
5.1	Circulación por efecto de Marea.	... 17
5.2	Circulación por arrastre de Viento.	... 18
5.3	Circulación por efecto de Marea y Viento.	... 19
6.	CONCLUSIONES.	... 23
	BIBLIOGRAFIA.	

RESUMEN

Se utilizó un modelo hidrodinámico numérico explícito, bidimensional y barotrópico de diferencias finitas en el Vaso de Puerto Escondido B.C.S. discretizado a) en una malla irregular con celdas de $40 \times 40 \text{ m}^2$, $40 \times 80 \text{ m}^2$, $40 \times 160 \text{ m}^2$, $80 \times 160 \text{ m}^2$, y $160 \times 160 \text{ m}^2$, y b) en una malla regular con celdas de $40 \times 40 \text{ m}^2$, para obtener el patrón de circulación que produce 1) la propagación de una marea supuesta con el rango de pleamar media superior (94cm) y periodos diurno (M_2 , solo en la malla irregular) en un caso y semidiurno (M_2) en otro; 2) el arrastre de vientos de 15 m/s en las direcciones N, NW, W, SW, S, SE, E, NE (solo los primeros 4 se emplearon en la malla regular) y 3) la acción conjunta de un viento del NW de 6m/s que corresponde a un valor promedio de los vientos dominantes y la marea semidiurna supuesta

La propagación por marea produce un patrón normalizado de circulación con características unidimensionales, es decir, se conserva durante todo el ciclo, diferenciándose el flujo del refluo solo en el sentido de la corriente. Las velocidades siguiendo la configuración del vaso se alinean paralelas al eje longitudinal del mismo y sus magnitudes varían inversamente proporcional al área hidráulica transversal a dicho eje.

La acción por efecto del viento activa el carácter bidimensional de la circulación produciendo un patrón caracterizado por la presencia de dos giros que dividen al vaso, uno ciclónico y el otro anticiclónico ocasionados por el arrastre de la componente del viento respecto a las márgenes. La corriente de contacto o acoplamiento entre los giros tiende a alinearse con la dirección del viento pero fluye en sentido contrario.

Los valores calculados muestran compatibilidad con la experiencia observacional del tipo euleriano y lagrangiano.

1. INTRODUCCION.

El Vaso de Puerto Escondido se encuentra 24 km. al sur de la Ciudad de Loreto, B.C.S.. Sus características geomorfológicas brindan protección contra viento y oleaje a embarcaciones y al ecosistema mismo, es principalmente un sitio de esparcimiento.

Estas condiciones favorecieron la creación de un centro de desarrollo turístico que contempló la construcción de una villa náutica y el dragado de una red de canales de navegación comunicados al vaso.

Los cambios morfológicos que se presentan por la creación de los canales y de la nueva zona habitacional, pueden aumentar los riesgos de contaminación en el área, esto hace necesario el conocimiento de la circulación en el Vaso e interior de los canales, cuya determinación es el objetivo de ésta tesis, a fin de poder determinar las zonas que estarán sujetas a un mayor impacto ambiental y poder así ofrecer alternativas de solución a estos problemas.

Los resultados del presente estudio muestran que la corriente en la cuenca se comporta unidimensionalmente al efecto de marea, es decir, los resultados exhiben un solo patrón normalizado de velocidades que tienden a alinearse paralelas al eje longitudinal del vaso entrando en el flujo y saliendo en el refluo, con magnitudes inversamente proporcionales al radio hidráulico transversal a dicho eje. Por esta razón los resultados obtenidos en la malla fina son muy similares a los obtenidos en la malla irregular con la que se trabajó inicialmente. Al realizarse un trabajo en conjunto con J.H. Gavilano en la malla fina se encontró que las zonas someras de las costas suroeste, sureste. y noreste que en la malla irregular practicamente no están consideradas, juegan un papel importante en la hidrodinámica por viento que activa el caracter bidimensional de la cuenca, razón por la cual algunos resultados de ese trabajo fueron incluidos en éste para comparación.

2 ANTECEDENTES.

En esta área se han llevado a cabo desde 1951 estudios de diversa índole, como **batimétricos**, de calidad del agua, **análisis de suelos**, **hidrológicos**, de mareas y **modelación hidrodinámica**. Se citan :

" **Modelación Hidrodinámica** de Puerto Escondido B.C.S." por **Jiménez, Obeso (1985)**. Utilizan una malla regular con celdas de $80 \times 80 \text{ m}^2$ sobre el Vaso original sin modificaciones **morfológicas**, reportan que la velocidad de la corriente de marea es fuerte en la boca y disminuye hacia el interior.

" **Estudio del Medio Físico** del Vaso de Puerto Escondido B.C.S. para alimentar los Modelos **Hidráulico** y **Ecológico** ", realizado por el Instituto de **Geofísica*** de la **U.N.A.M.(IGUNAM)** en conjunto con Ingenierfa del Medio Ambiente S.A. (**IMASA**) en 1986, a iniciativa del Fondo Nacional de Fomento al Turismo (**FONATUR**) el cual comprende mediciones de vientos, **hidrológicos**, **químico-biológicas**, de corrientes y mareas y los resultados del estudio **armónico** de la marea

" **Simulación Hidrodinámica** del Vaso de Puerto Escondido B.C.S." por **Jiménez et al.** en el que se incluye el " Estudio de Vientos de la **Región de Loreto B.C.S.** " realizados por iniciativa del **FONATUR** en el Departamento de Oceanología del **CICIMAR (1987)**. Esta **modelación se realizó** en la malla con celdas de $40 \times 40 \text{ m}^2$ también utilizada en el presente trabajo, considerando las modificaciones **morfológicas** actuales, reportan **cálculos** con mareas muertas y vivas así como bajo la **acción** de vientos de **6m/s**. Describen para un caso de **mareas** muertas con viento que el agua se mueve por el eje central de la cuenca hacia el interior regresando **por** las **márgenes** del Vaso, que se presenta poca **circulación** en los canales con velocidades muy pequeñas y que este **patrón** general de **circulación** se conserva tanto en condiciones de flujo como de reflujó. Otras alternativas modeladas contemplaron la apertura del

dique y de otra boca adicional en la parte norte del Vaso, reportando que en el reflujo existe una mayor influencia del dique abierto mientras que en flujo la boca actual predomina en cuanto al abastecimiento de agua, y siempre se observa muy poca circulación dentro de los canales. Respecto a la apertura simultánea de las dos bocas adicionales, indican que ésta es la peor de las alternativas ya que no permite circulación en varias zonas amplias del sistema al presentarse líneas de choque causadas por las tres comunicaciones al Golfo, pudiendo esto en un momento dado favorecer la sedimentación en tales zonas.

Sin embargo los resultados gráficos de este trabajo no son del conocimiento general ya que fu+ un servicio externo del CICIMAR al FONATUR, entregandose un solo informe técnico final.

3. CARACTERISTICAS GENERALES DEL AREA DE ESTUDIO.

*3.1 CARACTERISTICAS GEOGRAFICAS.

'El Vaso de Puerto Escondido se localiza entre los paralelos 25° 46' y 25° 50' Latitud Norte y los meridianos 111° 20' y 111° 21' Longitud Oeste, en la parte sur de la península de Baja California (fig.1).

Es una región del clima tipo BSx seco-estepario que se encuentra entre los tipo BW muy bridas y los húmedos A o C (García.E.-1986), es característico de la llanura costera del Golfo de California. Este clima tiene el régimen de lluvias de Verano cuya precipitación anual no llega a los 150 mm., su porcentaje de lluvia invernal es de 0 a 5 %. Su temperatura, promedio anual es de 22° y no presenta afluentes de ningún tipo, La vegetación predominante es el manglar que se localiza en su mayoría en la parte NW del Vaso y que sirve de refugio, sustrato y alimentación a muchos organismos.

3.2 CARACTERISTICAS OCEANOGRAFICAS Y METEOROLOGICAS.

3.2.1 C O R R I E N T E S .

En (5) se reportan mediciones horarias de corriente a tres profundidades en tres puntos (márgenes: sup., 1 y 2m y centro: sup., 1, 2 y 3m) a lo largo de la sección transversal de la boca tanto en mareas vivas (ciclo de 30 hrs.) como en mareas muertas (ciclo de 48 hrs.). Usando para ello un corrientmetro montado en una lancha sujeta con grarpines. Encuentran velocidades máximas para mareas vivas del orden de 105 cm/s en el flujo y de 135 cm/s en reflujos, mientras que de 50 cm/s y 115 cm/s respectivamente en mareas muertas. Al mismo tiempo efectuaron mediciones puntuales en el interior del vaso de perfiles de velocidad durante el flujo que muestran **disminución** paulatina de la magnitud con la profundidad pero sin cambios de **dirección**, con velocidades **superficiales** del orden de 15 cm/s y la misma **dirección** tanto en mareas vivas como en muertas. También utilizaron flotadores de deriva a 1, 5 y 10m de profundidad en tres lugares dentro del vaso y así observar los desplazamientos según la profundidad de las crucetas, las cuales siguieron trayectorias en las direcciones N y NW.

De las 0:00 hrs del 5 dic.1987 a las 6:00 hrs del 6 dic.1987 (mareas vivas) realice mediciones de corriente cada 15 min en el canal principal utilizando molinetes marca Kahlsico y cuerpos de deriva (galones **vácíos y llenos** de agua, porciones de unisel, etc.), en ambos casos las velocidades fueron inapreciables, así los cuerpos de deriva se desplazaron **mínimamente** (aproximadamente 8 metros en 4 horas), y los molinetes no registraron movimiento, probablemente **por** quedar dentro del umbral de **resolución** del instrumento, **sin embargo las** mediciones de nivel de agua fueron muy semejantes a las dadas **por** el calendario de mareas para esta fecha

3.2.2 M A R E A .

El estudio de **marea** realizada en (5) se basa en el registro durante 39 **días de dos mareógrafos (fig.5)**, uno en la barra norte del Vaso y otra fuera de él, en el muelle que está frente a la boca. **Comparando** la entrada de las **bajamares** y **pleamares** en los

dos lugares obtienen las mismas amplitudes tanto dentro como fuera del vaso pero indican que la marea dentro 'del vaso' sufre un retraso promedio de 6 minutos en las pleamares y de 20 minutos en las bajamares. Del análisis armónico de estos datos de acuerdo al método de Doodson obtienen los siguientes resultados para las amplitudes y fases de las principales componentes de marea.

PRINCIPALES CONSTANTES ARMONICAS

componente	MAREOGRAFO	MUELLE	Periodo hrs	MAREOGRAFO	BARRA
	1			II	
	Amplitud cm	Fase grados		Amplitud cm	Fase grados
K ₁	27.31	80.1	23.93	26.97	85.9
O ₁	19.32	74.9	25.82	18.65	81.0
M ₂	14.56	274.6	12.42	13.56	287.7
S ₂	12.16	263.9	12.00	10.21	275.0

De acuerdo a esta tabla, observan un defasamiento promedio de 6 grados en las mareas diurnas y de 12 en las semidiurnas que corresponde a un retraso de 24 minutos, confirmando el análisis simultáneo realizado con las pleamares y bajamares, infiriendo de esta forma las cartas cotidales de las componentes K₁ y O₁ de la figura.5. Además se obtiene un número de forma $F=(K_1+O_1)/(M_2+S_2)=1.75$ que cae dentro del intervalo (1.5,3.0) que corresponde al tipo de marea mixto predominantemente diurno' (Dietrich, G., 1975) aunque en algunas fases de la luna ocurran dos pleamares y dos bajamares, manifestandose los efectos de los componentes semidiurnos.

3.2.3 VIENTOS.

De un estudio del CICIMAR (17) sobre vientos en Puerto Escondido en que analizan 1009 observaciones diarias de las estaciones meteorológicas de la SARH en Loreto y puntos circunvecinos durante el periodo de Enero.1983 a Junio.1986, los vientos mas frecuentes son del NW(31%), N(29%), NE(17%), SE(13%) y S(9%).

Las pocas mediciones de viento reportadas en (5) presentan velocidades del orden de 3 m/s provenientes del N, NW y W

3.2.4 PARAMETROS FISICOS, QUIMICOS Y BIOLOGICOS.

A continuación se reportan los resultados de las mediciones de temperatura, nutrientes;, grasas, oxígeno disuelto, diversidad planctónica y coliformes efectuadas en (5) durante mareas vivas (24-V-86) y muertas (17-VI-86), a tres profundidades (superficial, media y fondo):

La temperatura del agua de mar muestra un incremento de 2°C en el interior del vaso respecto al exterior, presentando en mayo una temperatura promedio de 26°C sin estratificación y en junio de 27°C disminuyendo en 2°C a una profundidad de 10m

Reportan que los parámetros relacionados con nutrientes, reflejaron bajas concentraciones y que el oxígeno disuelto esta por debajo de lo normal para agua de mar, pero en niveles aceptables para cierto tipo de vida marina.

Con relación al parámetro de grasas y aceites, indican que no existe en el' reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de las Aguas un número específico, pero todas las estaciones muestran cierto contenido que debe tomarse en consideración, ya que no se diluye con facilidad y sin embargo si puede ir en aumento.'

Los arrastres con red Clark-Bumpus de malla #10 para zooplancton y #20 para fitoplancton muestran un equilibrio estable dentro del sistema en cuanto a la diversidad y cantidad en las especies de fitoplancton, zooplancton y bentos.

Señalan que los análisis de coliformes totales muestran que el 80% de las estaciones rebasan el limite permitido de menos de 1000 colonias en 100 ml.

4. METODOLOGIA.

Contenido y descripción de este capítulo se basa en los apuntes "Métodos Numéricos en la Mecánica de Fluidos", impartido por Juan H. Gavilano R. en la Escuela Superior de Ciencias Harinas (.ESCIMAR.) de la Universidad de Colima, parte de los cuales ya han sido expuestos en tesis de investigación (Fernández, E. 1987), (Galicia, M.A. 1987) y (Reyes, H.C. 1988), dirigidas por él. A modo de completéz, también se expondrán brevemente en este trabajo.

4.1 ECUACIONES BASICAS.

El comportamiento de un fluido incompresible y viscoso esta gobernado por las ecuaciones de continuidad o conservación de masa (1) y de movimiento o equilibrio dinámico (2), que expresadas en forma integral en un sistema de referencia cartesiano sobre la superficie terrestre son:

$$\frac{\partial}{\partial t} \int \rho \cdot dVol = - \int \rho \bar{V} \cdot d\bar{A} \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \int \rho \bar{V} \cdot dVol = - \int \rho \bar{V} \bar{V} \cdot d\bar{A} - \int f \hat{k} \times \rho \bar{V} dVol - \int p \cdot d\bar{A} - \int \tau \cdot d\bar{A} \quad (2)$$

donde: *

- t = La coordenada temporal.
- x, y, z = Las coordenadas espacial-.
- ρ = La densidad del fluido.
- $\bar{V} = (u, v, w)$ = El vector velocidad con componentes u, v, w en las direcciones x, y, z respectivamente.
- dVOL = Diferencial de Volúmen = dx*dy*dz
- A = Area que cubre el Volúmen VOL.
- $d\bar{A}$ = Vector, diferencial de área que apunta en la dirección de la normal externa a la superficie:
- P = La Presión.
- $\tau = \begin{pmatrix} \tau_{xx} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \tau_{yy} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \tau_{zz} \end{pmatrix}$ = El tensor de esfuerzos viscosos con τ_a el arrastre

viscoso que ocasiona la componente de velocidad $a = u, v, w$ en las direcciones x, y, z .

- f = Parámetro de Coriolis ($f = 2\omega \text{ sen } \phi$).
- ω = La velocidad angular Terrestre.
- ϕ = La Latitud del lugar.
- \hat{k} = Vector unitario en dirección del cenit del lugar.

Este sistema de ecuaciones se completa con las condiciones que debe satisfacer el fluido en sus fronteras de confinamiento que en nuestro caso vienen dadas por

- 1.- La condición de impermeabilidad en frontera cerrada (costa): El fluido no inunda obstáculos sólidos, es decir $\vec{V} \cdot \hat{m} = 0$ con \hat{m} un vector ortogonal a la costa.
- 2.- En los puntos de contacto con otro cuerpo de agua (frontera abierta), se prescriben los valores de las variables de interés.
- 3.- La velocidad del fluido ortogonal a las superficies de contacto agua-aire y agua-suelo esta dada por la de la superficie respectiva.

La solución analítica de las ecuaciones (1) y (2) para configuraciones morfológicas y batimétricas irregulares como las presentes en la naturaleza es extremadamente difícil, razón por la cual se resuelven numéricamente, lo que implica su discretización.

4.2 DISCRETIZACION DE LAS ECUACIONES.

Si se considera que un elemento de volumen esta acotado por los intervalos (x_1, x_2) , (y_1, y_2) y $(-h, \zeta)$, donde $-h$ hace referencia al fondo y ζ a la posición de la superficie libre del agua; se utiliza la notación:

$$\langle F \rangle_{xyz} = \int_{x_1}^{x_2} \int_{y_1}^{y_2} \int_{-h}^{\zeta} F \, dx dy dz = \Delta x_k \Delta y_l \langle F \rangle_z = \Delta x_k \Delta y_l H \tilde{F} \quad (3)$$

$$F \Big|_{x_1}^{x_2} = F(x_2) - F(x_1)$$

donde $\Delta x_k = x_2 - x_1$, $\Delta y_l = y_2 - y_1$ son, las longitudes de los intervalos horizontales, $H = h + \zeta$ es la profundidad de la columna de agua y \bar{F} es el valor promedio de F en el elemento de volumen; se hace la **suposición hidrostática** que en la **vértical** el **equilibrio dinámico** se establece entre las fuerzas de gravedad y de presión y en consecuencia existe una dependencia lineal entre la presión y la profundidad ($P(z) = P_\zeta + \rho g(\zeta - z)$ con P_ζ la presión en la superficie libre del agua); se considera que el fluido es homogéneo ($\rho = \text{cte}$) y newtoniano es decir que en las superficies de contacto líquidas los esfuerzos viscosos dependen del gradiente de velocidad ortogonal a las mismas; se emplean las parametrizaciones cuadráticas frecuentemente usadas en la literatura para los esfuerzos viscosos en las interfases agua-aire y **agua-suelo**; se restringe el movimiento al plano horizontal; las ecuaciones (1,2) quedan:

$$\Delta x_k \Delta y_l \partial_t (\zeta + h) = -A y, U \Big|_{x_1}^{x_2} - \Delta x_k V \Big|_{y_1}^{y_2} \quad (4)$$

$$A^* \partial_t U = -\Delta y_l \langle uu_z \rangle \Big|_{x_1}^{x_2} - \Delta x_k \langle uv_z \rangle \Big|_{y_1}^{y_2} - GH \Delta y_l \zeta \Big|_{x_1}^{x_2} + A^* (fV - W_r U + W_\lambda u_v) + U_h \quad (5)$$

$$A^* \partial_t V = -\Delta y_l \langle vu_z \rangle \Big|_{x_1}^{x_2} - \Delta x_k \langle vv_z \rangle \Big|_{y_1}^{y_2} - GH \Delta x_l \zeta \Big|_{x_1}^{x_2} + A^* (-fU - W_r V + W_\lambda v_v) + V_h \quad (6)$$

Donde $(U, V) = (\langle u \rangle_z, \langle v \rangle_z)$ es el transporte horizontal en direcciones (x, y) , $A = \Delta x_k \Delta y_l$ es el **area** horizontal del elemento de volumen, $W_r = r \cdot (u^2 + v^2)^{1/2} / H^2$, $W_\lambda = \lambda \cdot (u_v^2 + v_v^2)^{1/2}$, r y λ **parámetros** dimensionales de **fricción** agua-suelo y liquido-aire ($r = .003$, $\lambda = 3.2 \cdot 10^{-6}$ fueron los valores usados en los cálculos), (u_v, v_v) la velocidad del viento en las direcciones (x, y) , U_h y V_h hacen referencia a la parametrización de los términos de intercambio turbulento $(U_h, V_h) = \left\{ \Delta y_l \langle A u_x \rangle_z + \Delta x_k \langle A v_y \rangle_z \right\} (u, v) \Big|_{x_1}^{x_2} \Big|_{y_1}^{y_2}$

Si la **discretización** espacial de estas ecuaciones se realiza en una **malla** con **celdas** de Richardson (**diagrama 1**), es decir, los puntos $\zeta_{k,l}$ donde se calculan los niveles de agua tienen como

puntos vecinos en la dirección x con espaciamento Δx_k a $U_{k-1/2,l}, U_{k+1/2,l}$ y en la dirección y con espaciamento Δy_l a $V_{k,l-1/2}, V_{k,l+1/2}$ que es donde se calculan las componentes del transporte en las direcciones x e y respectivamente y si además la discretización temporal se realiza explícitamente en forma escalonada con un defasamiento $\Delta t/2$ entre niveles y transportes (diagrama 2), una posible forma de expresar la discretización de las ecuaciones es la siguiente (usando la convención de que variables sin algún sub o supra índice, tienen el de la variable a la izquierda de la igualdad):

Ecuación de Continuidad:

$$\zeta_{k,l}^{t+\Delta t} = \zeta_{k,l}^t - \frac{\Delta t}{\Delta x_k} [U_{k+1/2,l} - U_{k-1/2,l}]^{t+\Delta t/2} - \frac{\Delta t}{\Delta y_l} [V_{k,l+1/2} - V_{k,l-1/2}]^{t+\Delta t/2} \quad (7)$$

Ecuación de Movimiento, dirección x :

$$r_u U_{k,l}^{t+\Delta t/2} = U_{k,l}^{t+\Delta t/2} - G H_u \frac{\Delta t}{\Delta x_u} [\zeta_{k+1}^{t+\Delta t} - \zeta_k^{t+\Delta t}] - R_u U_{k,l}^{t+\Delta t/2} \quad (8)$$

Ecuación de Movimiento, dirección y :

$$r_v V_{k,l}^{t+\Delta t/2} = V_{k,l}^{t+\Delta t/2} - G H_v \frac{\Delta t}{\Delta y_v} [\zeta_{l+1}^{t+\Delta t} - \zeta_l^{t+\Delta t}] - R_v V_{k,l}^{t+\Delta t/2} \quad (9)$$

donde:

Δx_u es la distancia que separa a los puntos ζ_k, ζ_{k+1} vecinos inmediatos de $U_{k,l}$, es decir $\Delta x_u = (\Delta x_k + \Delta x_{k+1})/2$, análogamente $\Delta y_v = (\Delta y_l + \Delta y_{l+1})/2$ es la distancia que separa a ζ_l, ζ_{l+1} vecinos inmediatos de $V_{k,l}$

$$H_{u,k,l} = [H_k \Delta x_{k+1} + H_{k+1} \Delta x_k] / (2\Delta x_u), H_{v,k,l} = [H_l \Delta y_{l+1} + H_{l+1} \Delta y_l] / (2\Delta y_v)$$

son las profundidades en un punto U, V siendo $H = h + \zeta$ la profundidad en ζ .

$r_u = [1 + r \Delta t (U^2 + \tilde{U}^2)^{1/2} / H_u^2]$, $r_v = [1 + r \Delta t (V^2 + \tilde{V}^2)^{1/2} / H_v^2]$ provienen de utilizar una discretización implícita para el término de fricción con el suelo.

Los operadores R_u y R_v hacen referencia a la discretización de los términos advectivos, de coriolis, del arrastre por viento, de los términos de difusión turbulenta, etc., así se tiene

$$Ru \ U_{k,l}^{t+\frac{1}{2}\Delta t} = f' \ \tilde{U} + W'_{\lambda} \ u_v + A'_{H} (\delta_x^2 + \delta_y^2) u + Cu \ U$$

$$Rv \ V_{k,l}^{t+\frac{1}{2}\Delta t} = f' \ \tilde{U} + W'_{\lambda} \ v_v + A'_{H} (\delta_x^2 + \delta_y^2) v + Cv \ V$$

donde $\delta_x^2 U_{k,l} = [(U_{k+1} - U) / \Delta x_{k+1} - (U - U_{k-1}) / \Delta x_k] / \Delta x_k$

$$\delta_y^2 U_{k,l} = [(U_{l+1} - U) / \Delta y_{l+1} - (U - U_{l-1}) / \Delta y_l] / \Delta y_l$$

con expresiones análogas para los términos en V

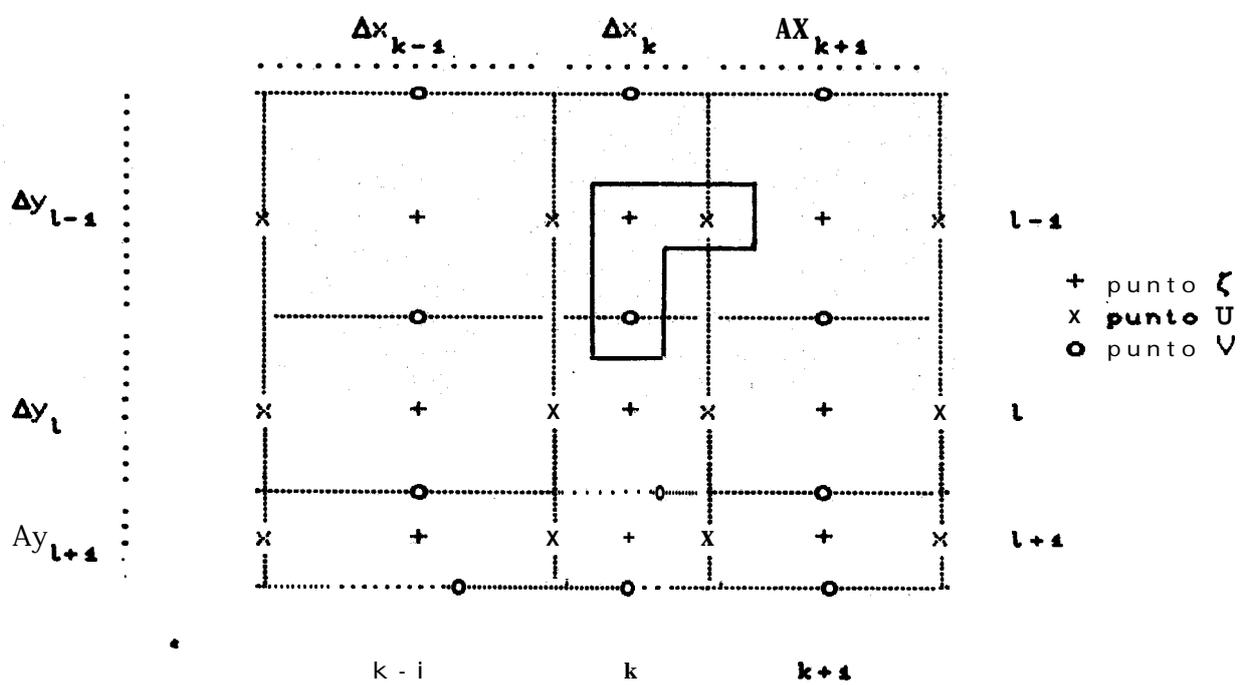


Diagrama 1: Mallas con celdas de Richardson . Se muestra la dirección seleccionada para el incremento de los índices k y l así como la posición que guardan los puntos con el mismo índice.

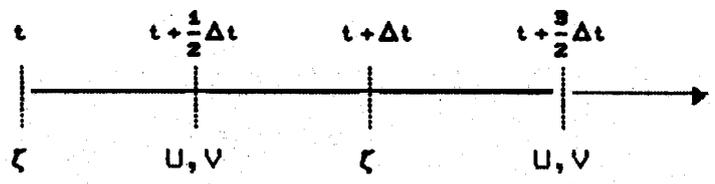


Diagrama 2: Evolución temporal de las variables;

4.3 ANALISIS DE ESTABILIDAD.

Dado un problema bien planteado a valores iniciales y una aproximación en diferencias finitas, la estabilidad es una condición necesaria y suficiente para la convergencia de la solución numérica a la del sistema, la cual no se logra para cualquier espaciamiento temporal Δt .

Para la obtención de estas condiciones, un método generalmente empleado es el de Von Neuman, en el cual se supone que las variables se pueden expresar en términos de una serie de la forma:

$$[\zeta, U, V]_{k+r, l+s}^{t+n\Delta t} = \sum_a [\zeta_0, U_0, V_0] \gamma_a^n e^{i\alpha r \Delta x + i\beta s \Delta y}$$

Los parámetros γ controlan la evolución temporal de una perturbación, pues dependiendo del valor de $|\gamma|$ se tiene un comportamiento neutro ($=1$), amortiguado (<1) o amplificado (>1) de la oscilación, de esta forma la condición para la existencia de estabilidad de una perturbación es: $|\gamma_a| \leq 1 \bar{v}_a$

Al substituir la expresión para un término de la serie anterior, en las ecuaciones (7), (8) y (9) una vez que se desprecian los términos de Coriolis, advectivos y de fricción y se suponen espaciamientos homogéneos en las direcciones x, y se llega a un sistema homogéneo de ecuaciones:

donde:

$$\begin{bmatrix} A & B & C \\ D & A & 0 \\ E & 0 & A \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \zeta_0 \\ U_0 \\ V_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

donde

$$A = \gamma - 1$$

$$B = \frac{\Delta t}{\Delta x} (1 - e^{-i\alpha \Delta x})$$

$$C = \frac{\Delta t}{\Delta y} (1 - e^{-i\beta \Delta y})$$

$$D = GH \frac{\Delta t}{\Delta x} (e^{i\alpha \Delta x} - 1) \gamma$$

$$E = GH \frac{\Delta t}{\Delta y} (e^{i\beta \Delta y} - 1) \gamma$$

Cuyas Soluciones no triviales se obtienen resolviendo el

polinomio característico:

$$(\gamma-1)^2 + C_0 \gamma = 0$$

$$\text{con } C_0 = 4Gh\Delta t^2 \left[\left(\frac{\text{sen } \alpha\Delta x/2}{\Delta x} \right)^2 + \left(\frac{\text{sen } \beta\Delta y/2}{\Delta y} \right)^2 \right]$$

cuyos ceros vienen dados por :

$$\gamma_{1,2} = \left[(2-C_0) \pm (4 - (2-C_0)^2)^{1/2} \right] / 2$$

si en esta expresión se supone que $(2-C_0)^2 \leq 4$, la magnitud de $\gamma_{1,2} = 1$, garantizando la estabilidad del sistema. El cumplimiento de esta suposición conduce a $0 \leq C_0 \leq 4$, o lo que es lo mismo a:

$$\Delta t \leq \frac{\Delta x}{\left[GH(1+\Delta x^2/\Delta y^2) \right]^{1/2}} \min \frac{\Delta x}{\left[GH(\text{sen}^2(\alpha\Delta x/2) + \text{sen}^2(\beta\Delta y/2) \cdot \Delta x^2/\Delta y^2) \right]^{1/2}} \quad (10)$$

expresión conocida como criterio de estabilidad de Courant-Friederich-Levy (CFL) para el caso de una malla con espaciamentos homogéneos Δx y Δy . En casos de mallas con espaciamentos inhomogéneos un criterio de estabilidad utilizado es seleccionar el mínimo de los Δt calculados de acuerdo a la condición CFL para cada celda (k,l) de la malla es decir:

$$\Delta t = \min_{k,l} \Delta t_{k,l} = \Delta x_k / \left[G H_{k,l} (1 + \Delta x_k^2 / \Delta y_l^2) \right]^{1/2} \quad \forall k,l \quad (11)$$

5. DESCRIPCIÓN Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .

Dadas las dimensiones del Vaso de Puerto Escondido, su hidrodinámica está regida por la onda de marea que se propaga a su interior por la boca de unos 40m de ancho localizada en la margen sur que lo comunica con el Golfo de California y por el arrastre de los vientos que soplan en su superficie. La modelación numérica del vaso se realizó en dos mallas, una regular con celdas de $40 \times 40 \text{ m}^2$ y 1130 puntos internos (fig.3) que fue elaborada en el CICIMAR, y otra con espaciamientos irregulares de 40m, 80m y 160m en las direcciones x,y, basada en la anterior y que contempla 308 puntos internos, con resolución fina en los canales, la boca y la dársena, perdiéndola hacia el interior del vaso (fig.4). El espaciamiento temporal de estabilidad Δt utilizado en esta malla fue el mínimo de los calculados en cada celda de acuerdo a la fórmula (11) y su valor resultó de 2.5851 seg. que corresponde a 17296 iteraciones por ciclo de marea M_2 , parecidos a los de la malla regular: $\Delta t = 2.2756$ seg y 19648 iteraciones por periodo M_2 .

Las batimetrías correspondientes a estas mallas (figs.3,4) se elaboraron a partir de las cartas batimétricas de la región proporcionadas al CICIMAR por FONATUR para el desarrollo del trabajo (17).

La influencia de la rotación terrestre sobre la hidrodinámica del Vaso es despreciable, lo que se puede ver del hecho que los cálculos de marea solo muestran un patrón de velocidad durante el flujo el cual solamente se invierte en el refluo, desviaciones de este patrón se observan en las pleamares y bajamares que corresponden al momento de transición de flujo a refluo o viceversa que es cuando se presentan las mínimas velocidades en un ciclo de marea con magnitudes de un 1X respecto a las máximas que se presentan en los nodos (momentos en que el nivel de agua pasa por su posición de equilibrio estático). Esta influencia mínima de la rotación terrestre también se puede inferir si se tiene en cuenta que el número de Rossby $\sigma = T_i / T_c = (1/f) / (L/U)$ con $T_i = 1/f$ el período inercial, f el parámetro de coriolis ($\sim 6.14 \times 10^{-5} \text{ s}^{-2}$), $T_c = L/U$ un período, U una velocidad ($\sim 5 \text{ cm/s}$) y L una longitud ($\sim 2.2 \text{ km}$) características del sistema es de orden 1 que corresponde

al caso de efecto despreciable

5.1 CIRCULACION POR MAREA.

Como condición de frontera abierta se prescribieron los niveles de agua de acuerdo a una función sinusoidal, es decir $z=A.\text{sen}(\omega.t)$ con A la amplitud, $\omega=2\pi/T$ la velocidad angular y T el periodo de la marea M_2 o K_1 . La amplitud se consideró igual al de pleamar media superior (47 cm). Esto con el objeto de tener una idea del comportamiento hidrodinámico que inducen las oscilaciones máximas promedio que pueda tener relación directa con las observaciones; que en general se realizaron en momentos extremos (mareas vivas y muertas)

La circulación por marea solo muestra un patrón normalizado de velocidades durante el flujo que se invierte en el reflujo y es muy similar entre las mareas M_2 y K_1 , así como entre las mallas fina (fig. 7) e irregular (figs. 8-15), de esta forma la corriente siguiendo la configuración costera tiende a alinearse paralela al eje longitudinal del vaso, encontrándose las máximas velocidades siempre en la vecindad inmediata a la boca donde el area hidratilica es más reducida, disminuyendo en magnitud rápidamente hacia el interior por el incremento continuo hasta la mitad del vaso del area hidráulica .

Las velocidades M_n son un factor de 2 veces más intensas que las K_1 , que, corresponde al factor de proporcionalidad entre sus frecuencias angulares, así para el nodo en pleamar las velocidades máxima y promedio en el caso de la M_2 son 61.5, 4.5 cm/s (malla irregular) y 58.3, 3.3 cm/s (malla fina) y en el caso de la K_1 31.8, 2.3 cm/s. (Ver tablas 1 y 2). Las diferencias máximas de nivel entre puntos del interior son del orden de un milímetro, habiendo un gradiente abrupto del orden de 5 milímetros a través de la boca. La magnitud de velocidad ligeramente mas grande en la malla irregular se debe a la poca resolución que en esta malla tienen las zonas someras lo que ocasiona un menor amortiguamiento por fricción con el suelo.

5.2 CIRCULACION POR ARRASTRE DEL VIENTO.

Los patrones **estacionarios** de **circulación** producidos por el efecto aislado de vientos fuertes de 15 m/s. soplando en las direcciones N, NW, **W**, SW, SE, **S**, NE, E, en la malla irregular y en las direcciones N, NW, W, y SW en la regular muestran de un modo general lo siguiente:

1. Las isoclinas de nivel de agua tienden a ser perpendiculares a la **dirección** del viento y aumentan su valor en la misma dirección
2. **Inversión** de la **dirección** del viento crea patrones de **circulación** inversos es decir el sentido de la corriente y el de los gradientes de nivel se invierten.
3. Se generan corrientes costeras de gran intensidad sobre todo en las zonas someras, su dirección coincide por lo general con la de la componente del viento respecto a las **márgenes**. Las corrientes en la zona profunda de menor intensidad toman por lo general direcciones contrarias a la del viento

Los **cálculos** en la malla **irregular** esbozan patrones similares a los realizados en la fina, aunque de menor **resolución** (figs. 18-21), sobre todo en las zonas someras de las márgenes oeste(W), este(E) y noreste(NE) que en la malla irregular **prácticamente** no son consideradas y que en los **cálculos** con viento resultaron ser de gran importancia **hidrodinámica**.

El **patrón** de **circulación** ocasionado por viento muestra como aspecto sobresaliente la presencia de dos giros principales ciclónico y anticiclónico que cubren la totalidad del vaso (se pueden apreciar con gran **resolución** en la malla fina), que son producidos por el arrastre de la componente del viento paralelo a las márgenes. La corriente de acoplamiento o **unión** de estos giros forma un eje que divide al vaso y tiende a alinearse en la **dirección** del viento pero fluye en sentido contrario. Entrantes y salientes de la **morfología** costera dan la **impresión** de dividir los giros principales en subgiros, y en algunos casos en lugares donde la **componente** del viento respecto a las **márgenes** es contraria a la **dirección** principal del giro se llegan a crear **pequeños**

contragírwo. La zona **somera** de la costa oeste es propicia a arrastres intensos generandose corrientes que dominan la hidrodinámica en esta vecindad. De esta forma vientos del norte(N) (fig.16) dividen a lo largo del eje longitudinal al vaso, el giro anticiclónico domina en la región oriental y el ciclónico en la occidental; vientos del oeste(W) (fig.17) dividen transversalmente al vaso, el giro anticiclónico se presenta en la parte norte y el ciclónico en la sur, aunque en este caso en la zona somera de la costa oeste el arrastre propicia la creación de un giro anticiclónico que se le contrapone; vientos del noroeste(NW) (fig.16) producen un patrón muy similar al del norte pero la corriente de acoplamiento tiende a alinearse mas hacia el noroeste; vientos del suroeste(SW) (fig.17) también dividen longitudinalmente al vaso pero el giro ciclónico de menor extensión, esta confinado a una vecindad muy cercana a la margen oriental y casi no invaden la costa norte, en cuya zona somera, se propicia un pequeño giro que se contrapone al anticiclónico principal de la región occidental.

5.3 CIRCULACION POR EFECTO DE VIENTO Y MAREA.

El patrón de circulación producido por el efecto superpuesto de la marea M_2 ya considerada anteriormente y de un viento del noroeste(NW) de $6m/s$ (fig.22 malla fina: nodos en pleamar y bajamar y figs.23-26 malla irregular: ciclo completo), que corresponde a dirección y magnitud promedio de los vientos dominantes, se puede explicar a groso modo como una combinación lineal de los patrones producidos por el efecto aislado de marea y viento. De esta forma el patrón producido por viento se ve afectado significativamente solo en la vecindad inmediata a la dársena, que es donde la marea ejerce su mayor influencia dominando la hidrodinámica de esta zona, mientras que su efecto en el resto del vaso se restringe a debilitar durante el reflujo o a reforzar en el flujo la corriente de acoplamiento de los dos giros principales característicos de la circulación por viento. Esta descripción no es del todo representativa de los cálculos en la malla irregular donde la supresión de las zonas someras vecinas a la dársena en las márgenes oriental y occidental ocasionan que la

zona de influencia de la marea sea mas extensa.

VALORES CARACTERISTICOS DE NIVELES Y VELOCIDAD EN MALLA REGULAR.

octavo	MAREA Mz			Vmax.	Vprom.
	Zmin.	Zmax	Zprom.		
0	- 0.92	0.00	- 0.80	58.26	3.29
1	32.76	32.23	32.83	39.22	2.22
2	47.00	47.15	47.13	0.99	0.09
3	33.23	33.87	33.79	37.83	2.14
4	0.00	0.91	0.79	57.89	3.27
5	- 33.23	- 32.65	- 32.74	44.82	2.54
6	- 47.15	- 47.00	- 47.13	1.19	0.12
7	- 34.00	- 33.23	- 33.89	43.20	2.44

octavo	MAREA Mz + VIENTO NW			Vmax.	Vprom.
	Zmin.	Zmax	Zprom.		
0	- 1.27	0.03	- 0.92	57.80	4.96
1	33.18	34.04	33.43	41.62	3.24
2	49.82	50.14	50.00	14.16	2.93
3	38.64	39.27	39.09	34.52	3.91
4	6.56	7.50	7.28	56.71	5.02
5	- 27.41	- 26.73	- 26.95	46.96	5.12
6	- 43.89	- 43.33	- 43.60	27.03	4.60
7	- 33.15	- 32.10	- 32.79	39.69	4.77

VIENTOS						
(N)	0	- 1.61	0.83	- 0.66	57.49	14.58
(NW)	0	- 2.33	0.07	- 0.90	59.80	13.59
(W)	0	- 2.28	0.10	- 0.52	52.69	0.37
(SW)	0	- 1.51	0.88	0.16	50.16	11.73

RESIDUALES						
Mz	0	- 0.04	0.00	- 0.02	0.97	0.16
Mz+NW	0	23.73	27.00	25.54	120.14	26.20

TABLA 1. VALORES CALCULADOS POR EL MN EN LA MALLA REGULAR.

VALORES **CARACTERISTICOS** DE NIVELES Y **VELOCIDAD** EN MALLA IRREGULAR.

		MAREA M₂			
Octavo	Zmin.	Zmax.	Zprom.	Vmax.	Vprom.
0	- 0.86	0.00	- 0.84	61.52	3.51
1	32.77	33.23	32.81	41.46	2.39
2	47.00	47.13	47.12	1.00	0.13
3	33.23	33.84	33.82	39.86	2.89
4	0.00	0.86	0.83	61.11	3.49
5	-33.23	-32.68	-32.72	47.38	2.72
6	-47.15	47.00	-47.14	1.29	0.17
7	-33.95	-33.23	-33.93	45.55	2.59

		MAREA K₁			
0	- 0.39	- 0.00	- 0.38	31.81	1.87
1	33.00	33.23	33.01	21.24	1.23
2	47.00	47.03	47.03	0.27	0.04
3	33.23	33.50	33.49	20.87	1.20
4	0.00	0.39	0.38	31.72	1.82
5	-33.23	-32.96	-32.98	24.26	1.40
6	-47.04	-47.00	-47.03	0.35	0.05
7	-33.55	-33.23	-33.54	23.86	1.36

MAREA Me + VIENTO NW

0	1.07	0.00	0.00	60.85	3.47
1	33.43	34.16	33.53	44.46	2.60
2	50.45	50.64	50.55	14.64	0.90
3	39.68	40.24	40.14	35.69	2.24
4	7.87	8.74	8.62	59.54	3.55
5	-26.21	-25.56	-25.72	49.49	3.13
6	-42.44	-42.55	-42.82	12.49	1.38
7	-32.65	-31.71	-32.52	41.07	2.47

VIENTOS

(N)	1	- 0.80	0.96	- 0.06	26.17	4.89
(NW)	1	- 0.67	0.96	0.01	23.29	4.66
(W)	1	- 0.55	0.58	0.08	20.96	3.17
(SW)	1	- 0.58	0.65	0.01	20.37	3.62
(S)	1	- 0.97	0.80	0.06	26.39	4.90
(SE)	1	- 0.96	0.67	- 0.01	23.56	4.67
(E)	1	- 0.58	0.55	- 0.08	21.07	3.17
(NE)	1	- 0.65	0.58	- 0.10	20.32	3.61

RESIDUALES

K₁	0	- 0.01	0.00	0.00	0.15	0.01
M₂	0	- 0.04	0.00	0.04	0.53	0.05
M₂+NW	0	29.98	32.32	30.83	103.01	7.52

TABLA 2. VALORES CALCULADOS POR EL MN EN LA MALLA IRREGULAR.

6. CONCLUSIONES .

Los **cálculos** indican que la marea produce **patrones de circulación** normalizados con **características** unidimensionales es decir que muestran que los efectos de la **rotación** terrestre son despreciables: presenta el mismo **patrón de circulación** durante el ciclo diferenciándose entre el flujo y el reflujo por la **inversión** de la **dirección** de las corrientes que siguiendo la **configuración** de las **márgenes** se alinean paralelas al eje longitudinal del vaso, con magnitudes considerables en las **cercanías** de la boca ocasionados por fuertes gradientes en los niveles de agua por la **reducción del area hidráulica** en esa zona pero que disminuyen rápidamente por el incremento continuo de dicha **area** hacia el interior del vaso, las diferencias de nivel entre puntos del interior son del orden del milímetro, indicando una **propagación** casi **instantánea** de la onda de **marea**, lo cual es de esperarse por las dimensiones horizontales y vertical (profundidad) del vaso que permiten que una onda larga como lo es la marea astronómica tenga longitudes de onda varias veces **más** grandes que su longitud. Sin embargo los **cálculos** muy similares entre las dos mallas en e s t e caso, muestran solo un defasamiento de unos 2 minutos entre puntos del interior y el exterior que no concuerdan con los **defasamientos** que se reportan en (5) que son del orden de 20 minutos.

El **efecto** del viento activa el **caracter bidimensional** en la **circulación** del vaso presentándose siempre dos giros principales , uno **ciclónico** y otro **anticiclónico** que lo dividen y que son ocasionados por el arrastre de la componente del viento paralela a las **márgenes**. La corriente de contacto de estos giros tiende a alinearse con la **dirección** del viento pero fluye en sentido contrario. Los **cálculos** en la malla 'irregular no resuelven debidamente las tonas someras que son determinantes en la **circulación** por viento ocasionando en este caso, que la zona mas somera de la **dársena**, muestre los efectos **hidrodinámicos más** predominantes, sin **embargo** se esbozan correctamente los aspectos más sobresalientes que muestra la malla fina.

La **acción** conjunta de marea y viento del noroeste muestra que la marea solo ejerce una influencia apreciable en la vecindad de la boca y **dársena**, que es donde se manifiesta flujo y reflujo y se limita a debilitar en el reflujo o reforzar en el flujo, la corriente de contacto entre los giros que fluye paralela al eje longitudinal hacia el interior, es de notarse que en este caso existe un defasamiento considerable **pues se favorece** la entrada de agua al interior y se inhibe su salida, lo cual ocasiona que se acelere la entrada de la pleamar y se retrase la bajamar.

Los patrones de circulación obtenidos muestran compatibilidad con los rumbos medidos en (5) de crucetas de deriva en flujo, y muestran ordenes de **magnitud** similares al de las velocidades medidas en la boca y las deducidas a partir de las crucetas.

La presencia actual de contaminantes en el Vaso no es muy alarmante, pero si **éstos** se incrementan al ser habitada la nueva infraestructura que se esta terminando, se corre el gran riesgo de dañar severamente el ecosistema de no tomarse las medidas preventivas adecuadas. Considerando el **patrón de circulación** y las velocidades calculadas se puede indicar que la cuenca es sensible a la **contaminación**.

Se **comprobó** que al trabajar los modelos con malla irregular y malla regular no implica grandes variaciones en los **cálculos**, **algunas zonas** disminuyen en **resolución**, pero **ésta** se obtuvo en las zonas de **interés** y se redujo el tiempo de computadora proporcionalmente a la **reducción** de puntos internos, utilizando el mismo modelo.

Se puede concluir que el modelo es capaz de reproducir los procesos **hidrodinámicos** del tipo **barotrópico más importantes** del Vaso de Puerto Escondido **B.C.S.**

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

1. Calendario gráfico de mareas de Puerto Escondido., para FONATUR Instituto de Geofísica. U.N.A.M., 1986, 1987.
2. Dressler, R., 1981., Investigación sobre mareas y efecto del viento en el Golfo de California mediante un Modelo Hidrodinámico Numérico (MHN)., Sammlung Von Publikationen, Dressler R.2.
3. Dressler, R., 1982., Investigación sobre la constituyente de Marea M₂ de la marea y efectos del viento en la Bahía de San Quintin, Baja California mediante un Modelo Hidrodinámico Numérico., Sammlung Von Publikationen, Dressler R.2.
4. Dietrich, G., 1975., Allgemeine Meereskunde. 3 Auflage Gebrüder Borntraeger. Berlin, Stuttgart.
5. Estudio del Medio Físico en el Vaso de Puerto Escondido B.C.S. para alimentar los modelos Hidráulico y Ecológico IGUNAM-IMASA., Informe Final., 1986.
6. Fernández, E. V., 1987., Modelación Hidrodinámica Numérica de la Albufera Barra de Navidad, Jalisco., Tesis de Licenciatura. ESCIMAR., Universidad de Colima.
7. Galicia, M.A., 1987., Modelación Hidrodinámica de las Bahías de Manzanillo y Santiago, Colima. Tesis de Maestria., UACPPCCH., (ICMYL) U.N.A.M.
8. García, E., 1986., Apuntes de Climatología. U.N.A.M. Cuautitlán, U.A.M., México, D.F., Ed. Offset Larios.
9. Gaviño, J.H., 1985., Apuntes de Métodos Numéricos en la Mecánica de Fluidos., ESCIMAR., Universidad de Colima., Inéditos.

10. Godin, G., 1972., The Analisis of Tides., University of Toronto., Press.
11. Greenberg, D., 1983., Mathematical description of the Bay of Fundy and Gulf of Maine., Journal of Physical Oceanography., Vol.13, No.5.
12. Grijalva, N., 1972., Tidal Computations in the Gulf of California., Geofísica Internacional., Vol. 12, num. 2, pp 13-34. México, D.F.
13. Hahn-Goldberg, S., 1987. Introducción a las Ecuaciones Diferenciales Parciales., V Coloquio del Dpto. de Matemáticas del Centro de Investigación y Estudios Avanzados del I.P.N., Patzcúaro, Michoacán.
14. Heaps, N.S., 1969., A two dimensional numerical sea model Phil. Trans. R. Soc. London., A 265., pp 93-137.
15. Jiménez, I.A., 1983., Aplicación de un Modelo Hidrodinámico en la Ensenada de la Paz, B.C.S., Tesis de Maestría CICESE.
16. Jiménez, I.A., Obeso, N.M., 1985., Modelación Hidrodinámica de Puerto Escondido., Memorias CIBCASIU.
17. Jiménez, I.A., et al., 1987., Simulación Hidrodinámica del Vaso de Puerto Escondido B.C.S., Informe Técnico Final. Servicio Externo CICIMAR-FONATUR.
18. Jiménez, I.A., et al., 1987., Modelación Hidrodinámica del Sistema Lagunar Carmen-Pajonal-Machona Edo. Tabasco., Informe Técnico Final. Servicio Externo CICIMAR-SEPESCA. (Deleg. Fed. Pesca Edo. Tabasco).
19. Koss, W.J., 1971., Numerical integrations experiments with variable resolution two dimensional cartesian grids using the Box method., National Hurricane Research Lab., Environmental Research Lab., NOAA., Florida.

20. Mitchell, A.R., 1978., Computational Methods in Partial Differential Equations., John Willey & Sons.
21. Monreal, M.A., Salas de León D.A., 1985., Barotropic and Baroclinic modes in the Gulf of México., Universite de Liege., Reports., Belgium.
22. Obeso, N.M., 1987., Propagación de la constituyente M₂ de la Marea en la Bahía de la Paz, B.C.S., Tesis de Maestría, CICIMAR.
23. Phillips, N.A., 1972., On the strategy of combining coarse and fine grids meshes in numerical weather prediction., Dept. of Meteorology, Massachusetts Institute of Technology., Cambridge 02139., U . S . A .
24. Pedlosky, J., 1986., Geophysical Fluid Mechanics., Springer Verlag.
25. Ramming, H.G., 1980., Numerical Modelling of Marine Hydrodynamics Applications to Dynamic Physical Processes., Elsevier.
26. Reyes, A.C., 1988., Estudios Hidrodinámicos en el Puerto Interior de Manzanillo, Colima., Tesis de Licenciatura., ESCIMAR., Universidad de Colima.
27. Vargas, C. et al., 1987., Solución numérica de Ecuaciones Diferenciales Parciales por Diferencias Finitas., V Coloquio del Dpto. de Matemáticas del Centro de Investigación y Estudios Avanzados del I.P.N., Patzcuaro, Michoacán.
28. Vemuri, V., 1982., Digital Computer Treatment of Partial Differential Equations., Prentice Hall., New Jersey.

LISTA DE FIGURAS.

1. Plano de **Localización** del **Area** de Estudio.
2. Diseño de Mallas.
3. Malla Regular de Puntos y Batimetría.
4. Malla Irregular de Puntos y Batimetría.
5. Red de Estaciones y Cartas Cotidales **IMASA-IGUNAM**.
6. Comportamiento de Cruces de deriva **FONATUR-IMASA-IGUNAM**.
7. Patrones de **Circulación** y de **Isolíneas** de Nivel de Agua Producidos por una **Marea M₂** de 47 cm. de **Amp.** en Malla Regular.
- 8-11. Patrones de **Circulación** y de **Isolíneas** de Nivel de Agua Producidos por una **Marea M₂** de 47 cm. de **Amp.** en Malla Irregular.
- 12-15 **Patrones de** **Circulación** y de **Isolneas** de Nivel de Agua Producidos por una **Marea K₁** de 47 cm. de **Amp.** en Malla Irregular.
- 16-17 Patrones Estacionarios de **Circulación** y de **Isolneas** de Nivel de Agua Producidos por Vientos del N, NW, W, y **SW** de 15 **m/seg.** en Malla Regular.
- 18-21 Patrones Estacionarios de **Circulación** y de **Isolneas** de Nivel de **Agua** Producidos por Vientos del N, NW, **W**, SW, S, SE, E, y NE de 15 **m/seg.** en Malla Irregular.

- 22 Patrones de **Circulación** y de **Isolíneas** de Nivel de Agua Producidos por la **Acción** Conjunta de una Marea **M₂** de 47 cm. de Amplitud y un Viento del NW de **6 m/seg.** en Malla Regular.
- 23-26 Patrones de **Circulación** y de **Isolíneas** de Nivel de Agua Producidos por la **Acción** Conjunta de una Marea **M₂** de 47 cm. de Amplitud y un Viento del NW de **6 m/seg.** en Malla Irregular.
- 27 Patrones Residuales de **Circulación** y de Niveles de Agua en un Periodo de Marea **M₂** de 47 cm. de Amplitud, a) Aislada y b) Bajo la **Acción** Conjunta de un Viento del Noroeste (**NW**) de **6 m/seg.**
- 28 Patrones Residuales de **Circulación** y de Niveles de Agua en un **Período** de Marea **M₂** y **K₁** de 47 cm, de amplitud.
- 29 **Patrón** Residual de **Circulación** y de Niveles de Agua en un período de Marea **ti₂** de 47 cm de Amplitud bajo la **Acción** Conjunta de un Viento del Noroeste (**NW**) de **6 m/seg.**

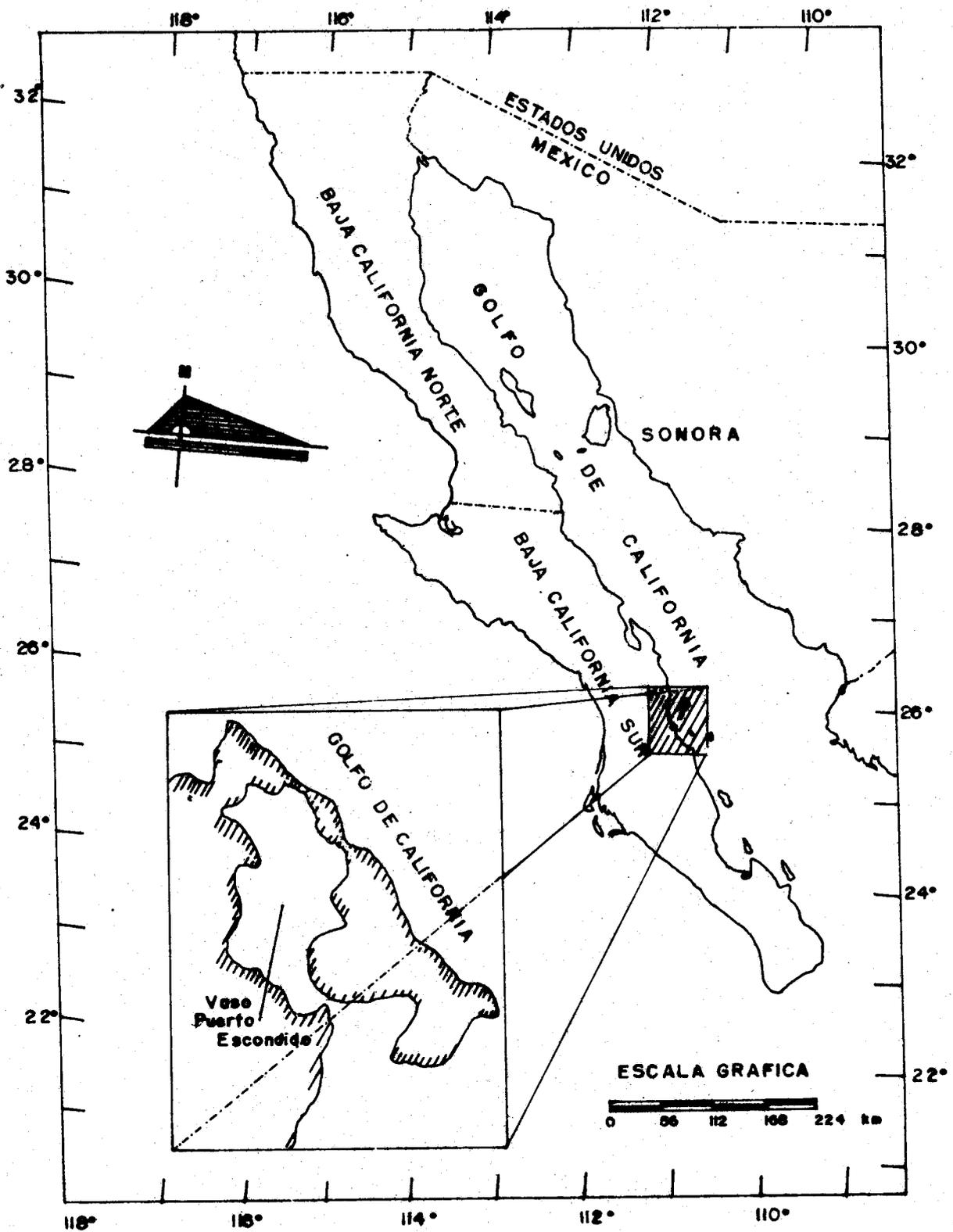


Fig. 1.- MAPA DE LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO

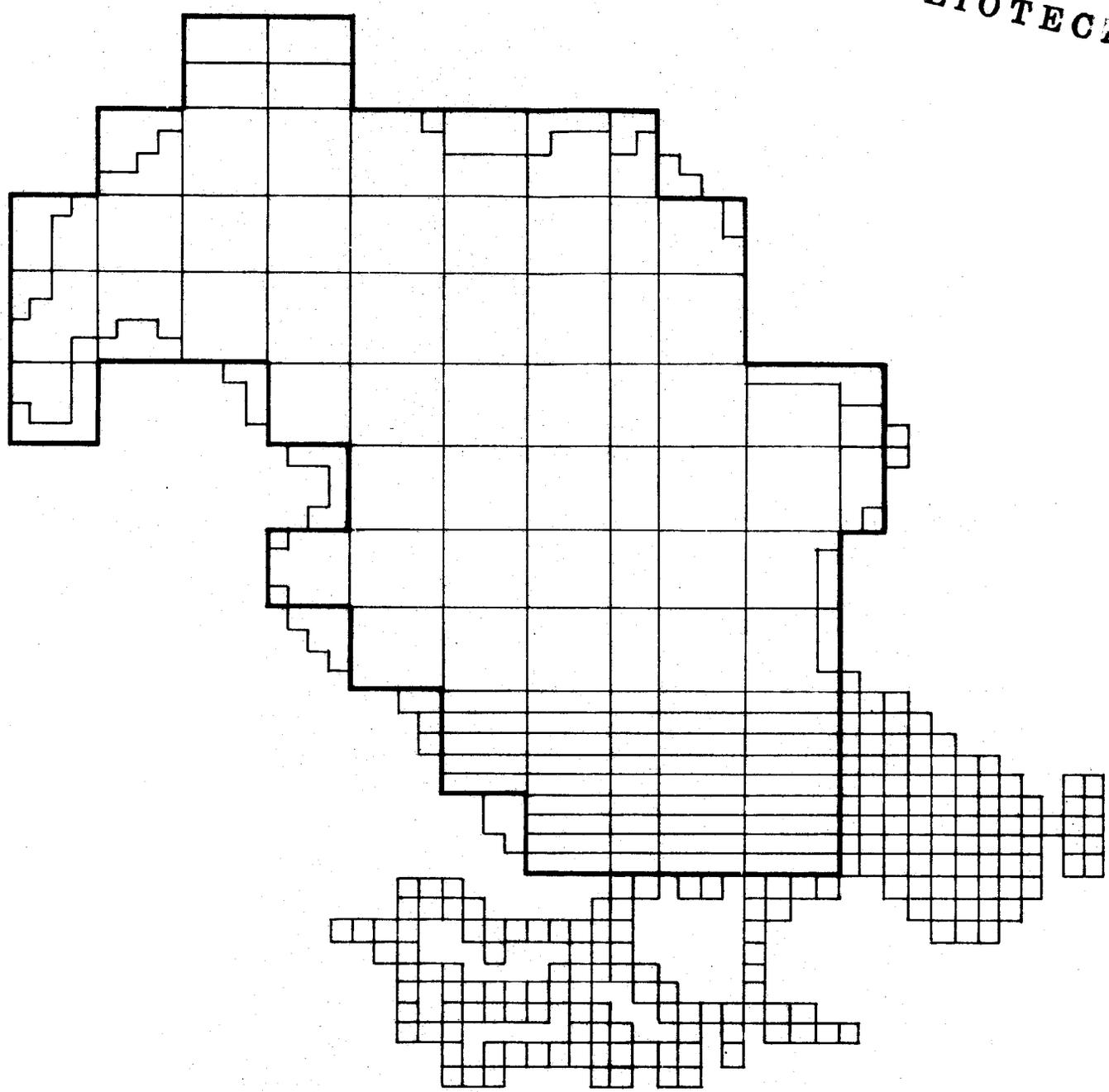
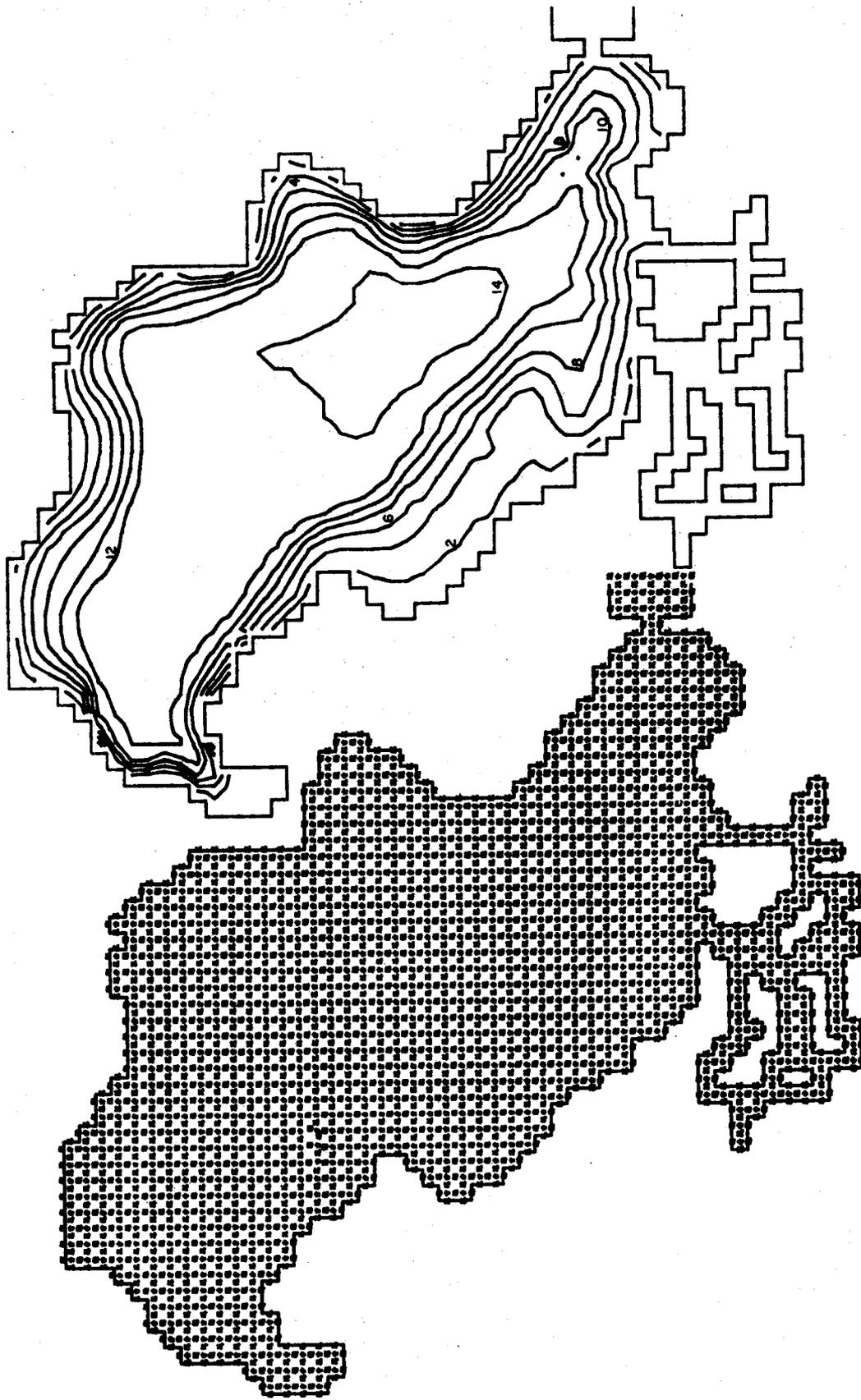


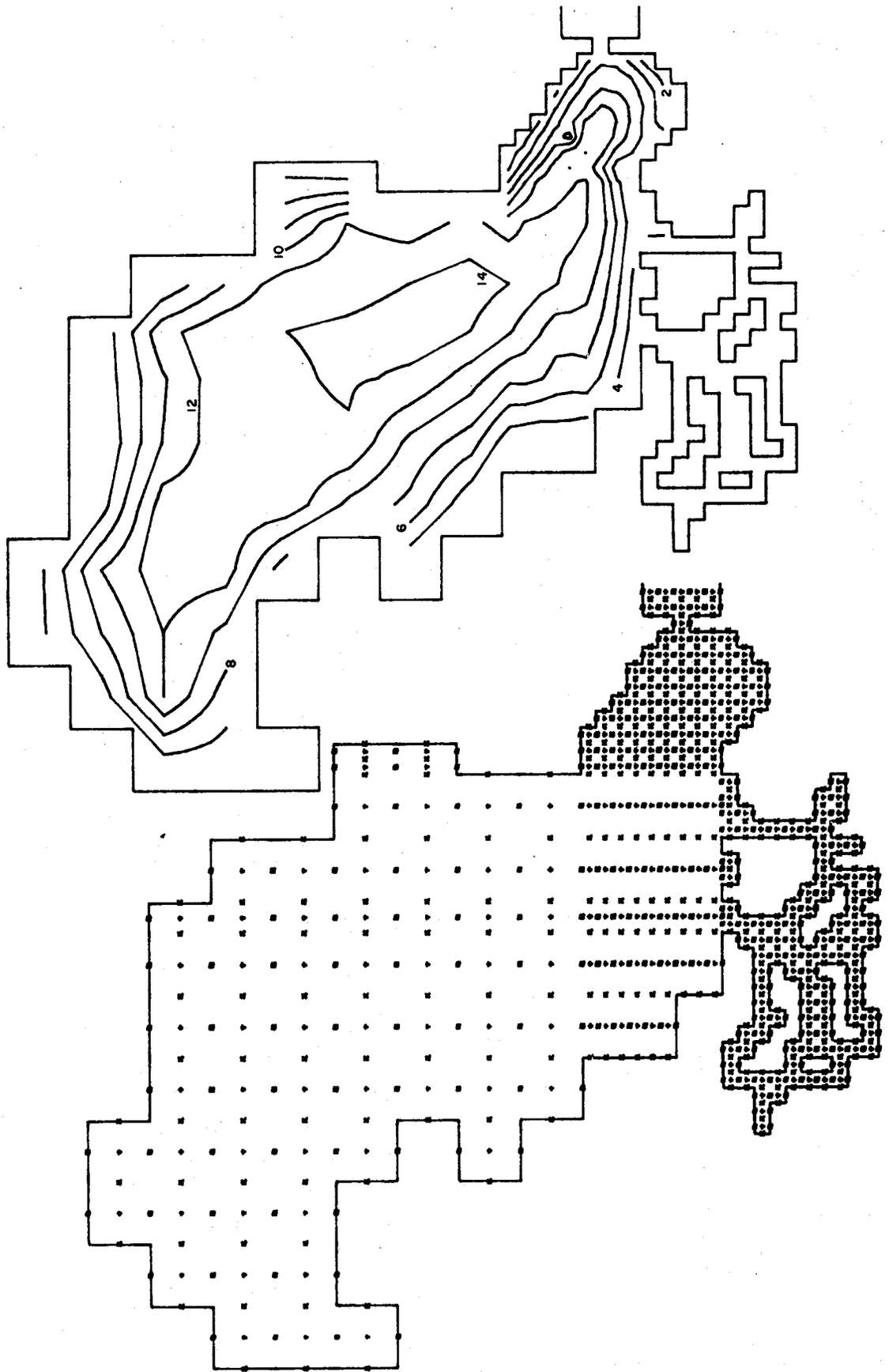
FIG. 2.- DISEÑO DE LA MALLA IRREGULAR.



BATIMETRIA (M)

MALLA DE PUNTOS

FIGURA 3.-



BATIMETRIA (M)

MALLA IRREGULAR DE PUNTOS

FIGURA 4.-

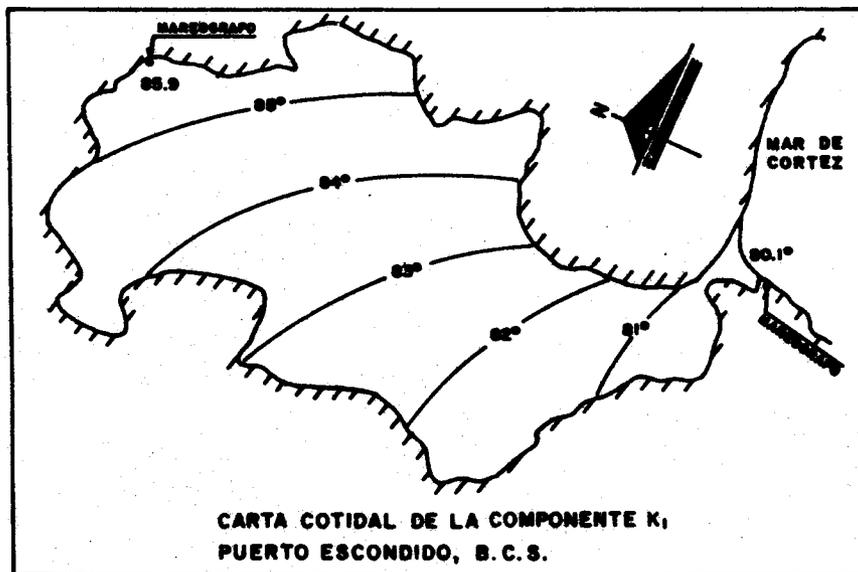
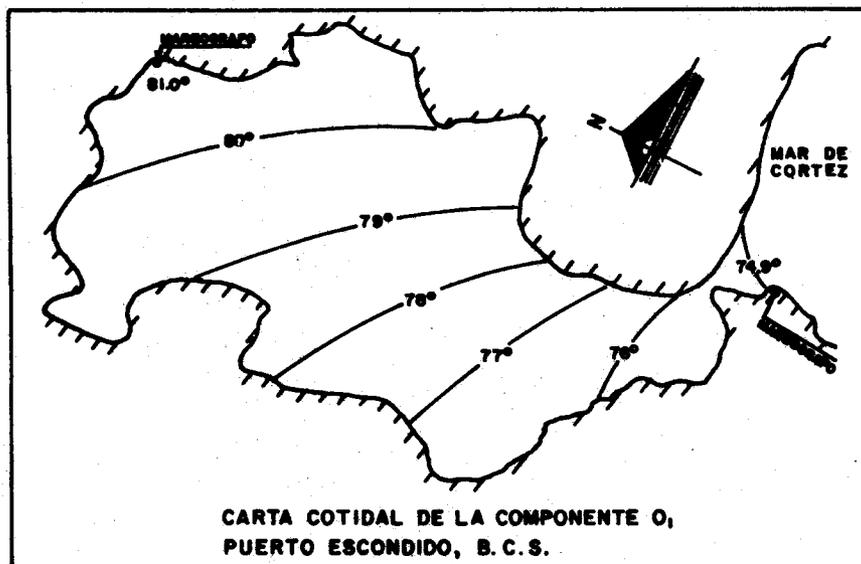
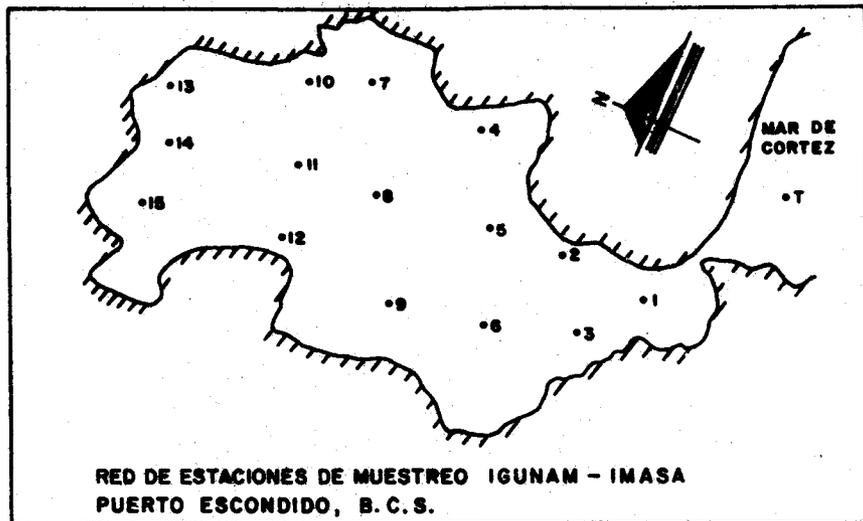


FIG. 5.- FIGURAS TOMADAS DEL INFORME PARA FONATUR DE I.G.U.N.A.M-
I.M.A.S.A. JUNIO DE 1986.

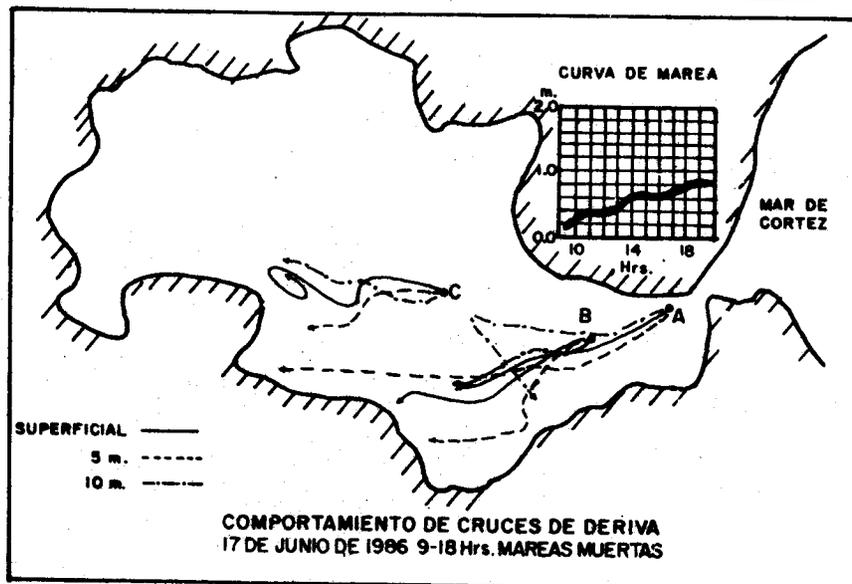
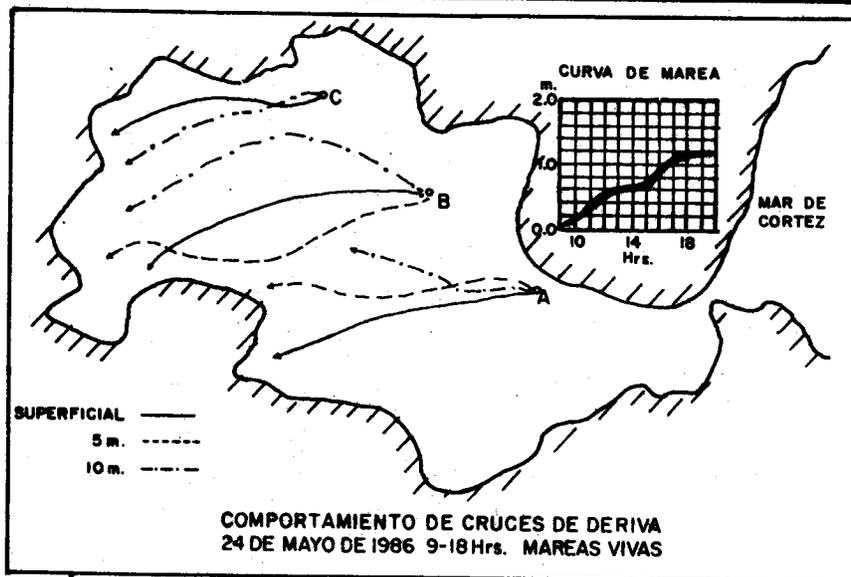
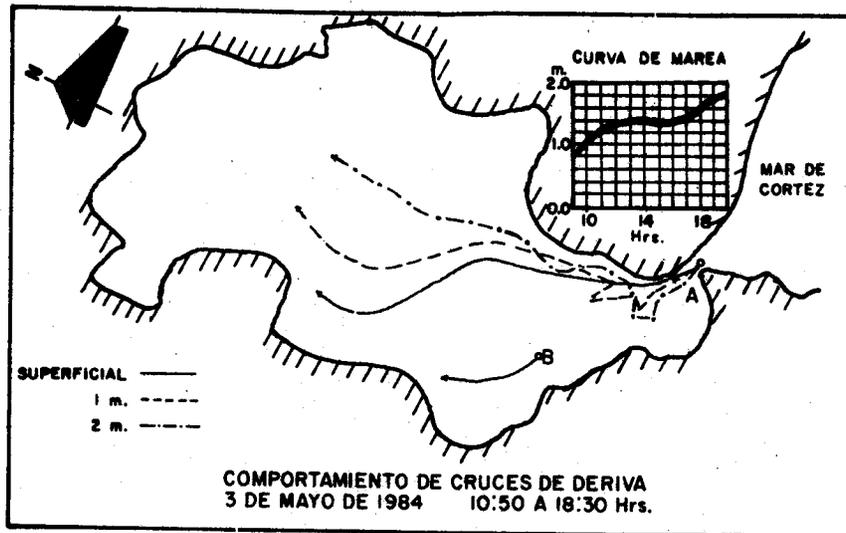


FIG. 6.- FIGURAS TOMADAS DEL ESTUDIO DEL MEDIO FISICO EN EL VASO DE -
PUERTO ESCONDIDO B.C.S. PLANOS PS-LTPL-84402-01 AGOSTO 1984
Y PLANOS I Y I BIS JUNIO 1986.

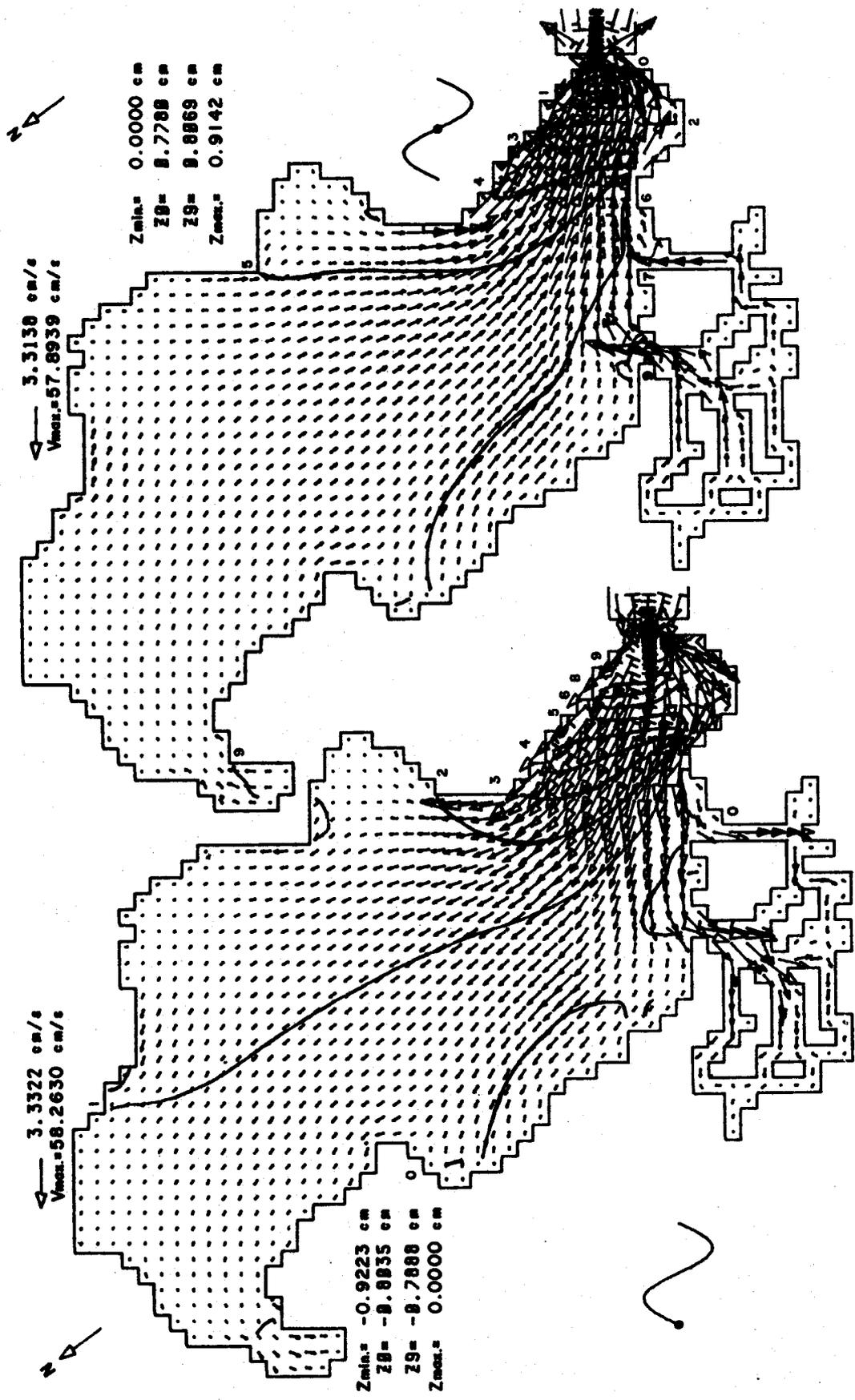


FIGURA 7.- PATRONES DE CIRCULACION Y DE ISOLINEAS DE NIVEL DE AGUA PRODUCIDOS POR UNA MAREA M2 DE 47 CM DE AMPLITUD

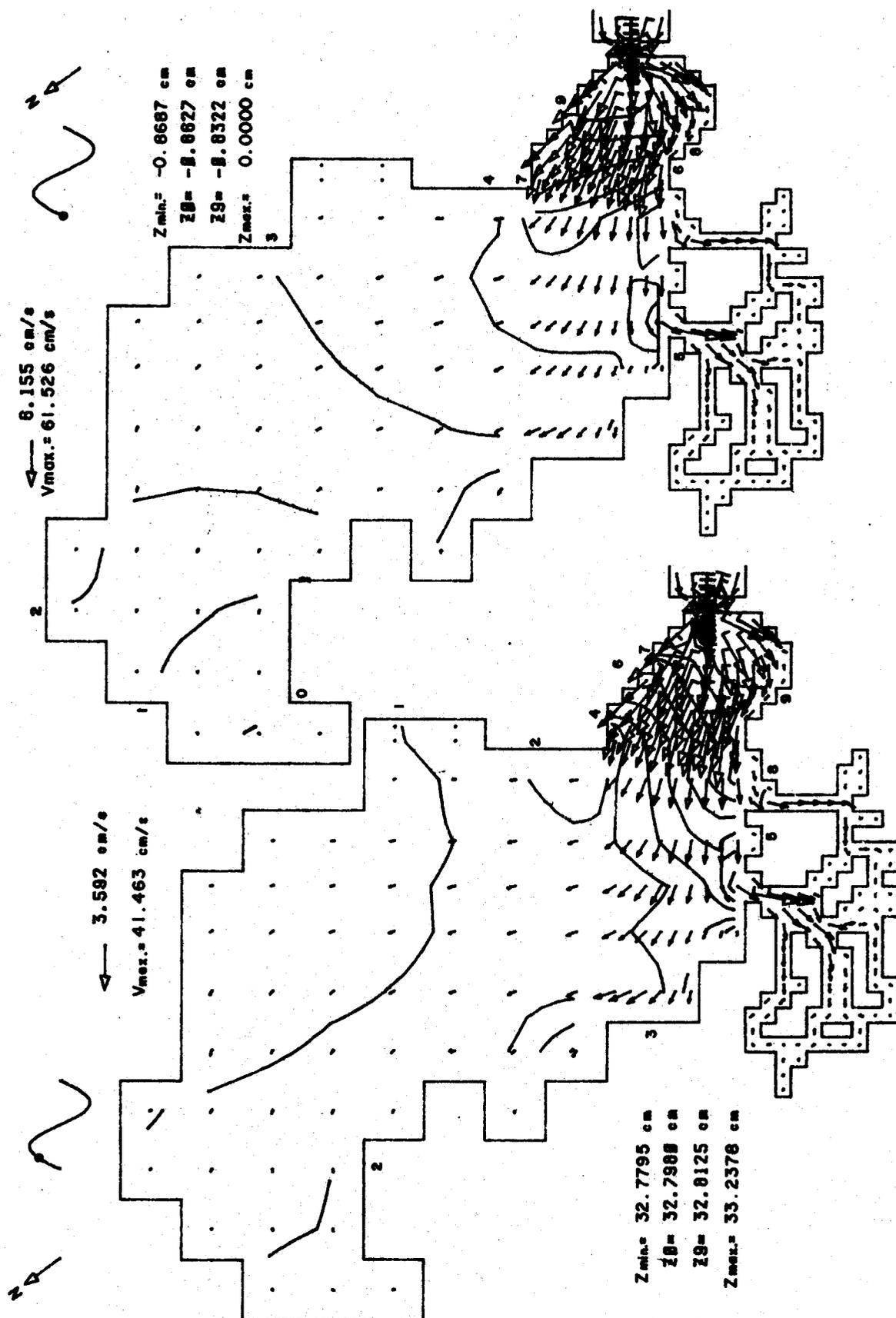


FIGURA 8.- PATRONES DE CIRCULACION Y DE ISOLINEAS DE NIVEL DE AGUA PRODUCIDOS POR UNA MAREA M2 DE 47 cm DE AMPLITUD

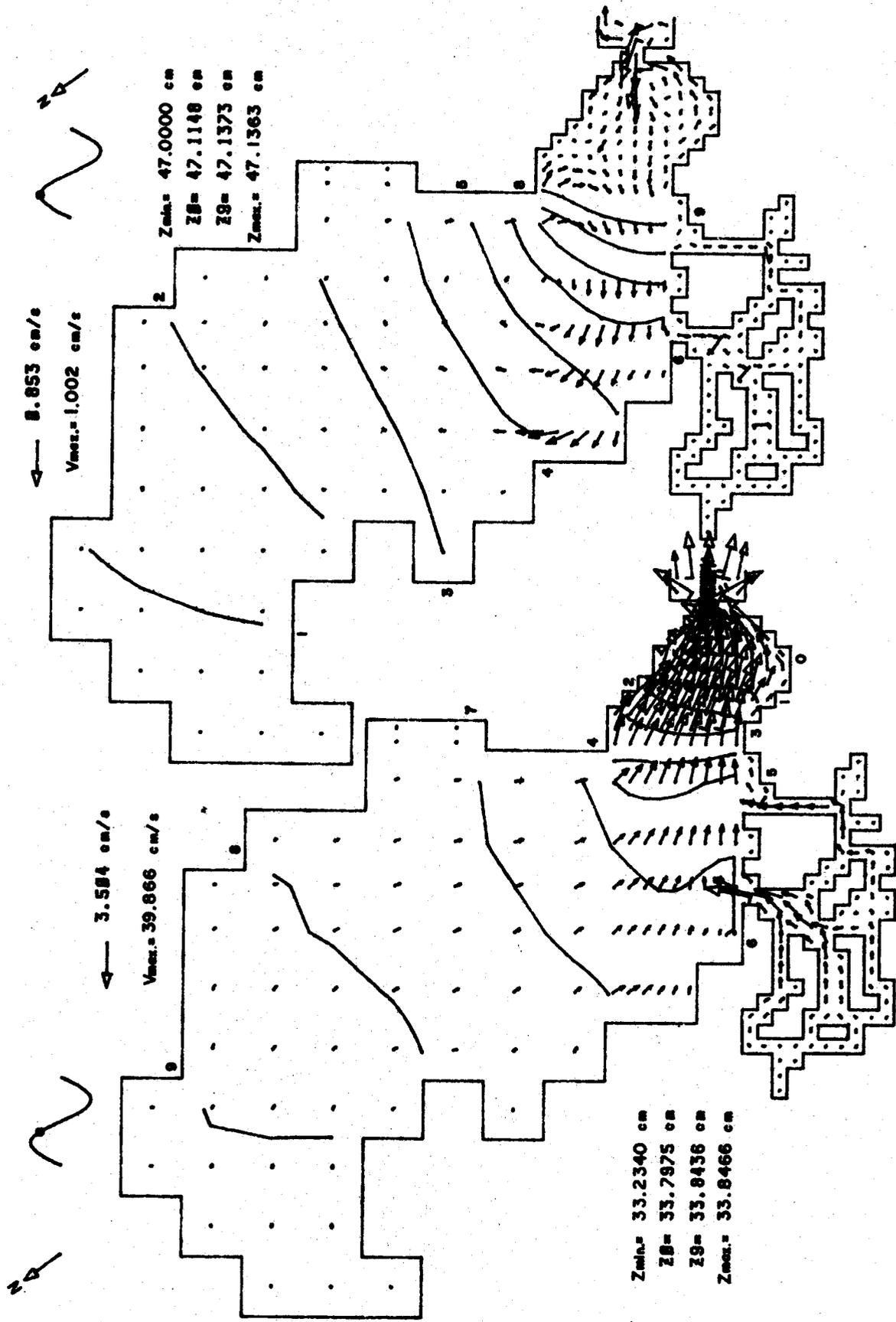
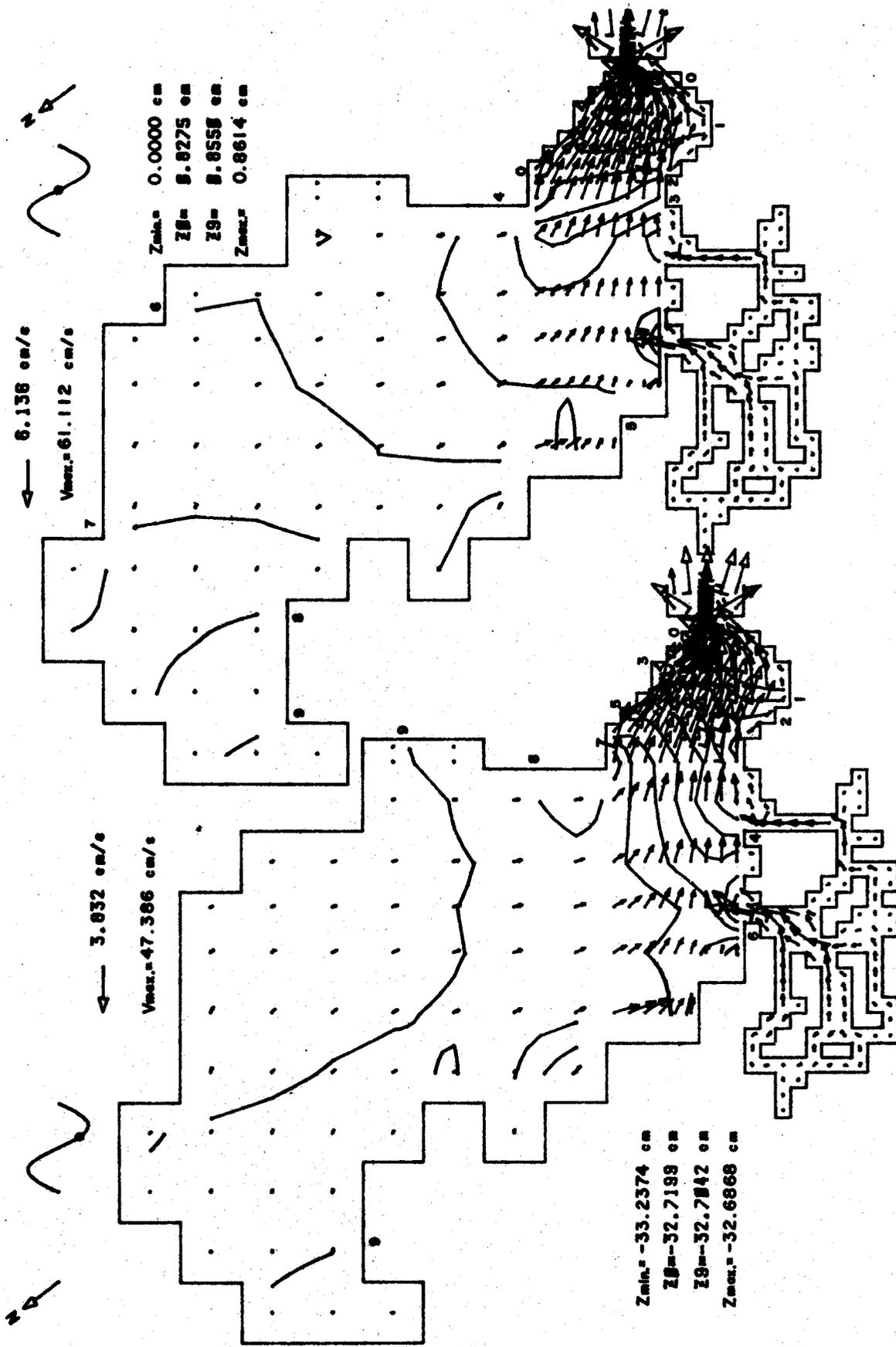


FIGURA 3 PATRONES DE CIRCULACION Y DE ISOLINEAS DE NIVEL DE AGUA PRODUCIDOS POR UNA MAREA M2 DE 47 cm DE AMPLITUD



FIGURIO.-PATRONES DE CIRCULACION Y DE ISOLINERS DE NIVEL DE AGUA PRODUCIDOS POR UNA MAREA M2 DE 47 cm DE AMPLITUD

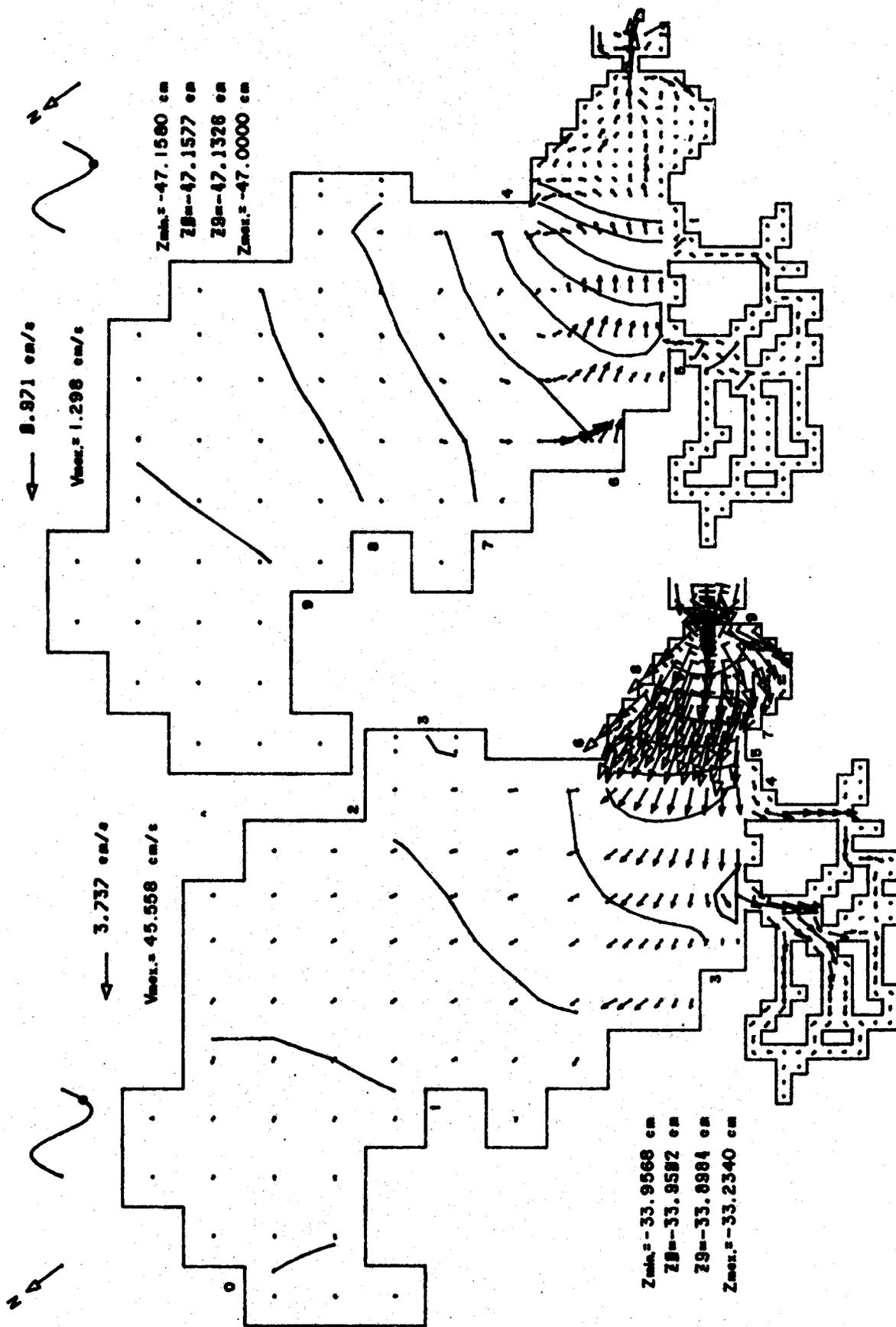


FIGURA II.- PATRONES DE CIRCULACION Y DE ISOLINEAS DE NIVEL DE AGUA PRODUCIDOS POR UNA MAREA M2 DE 47 cm DE AMPLITUD

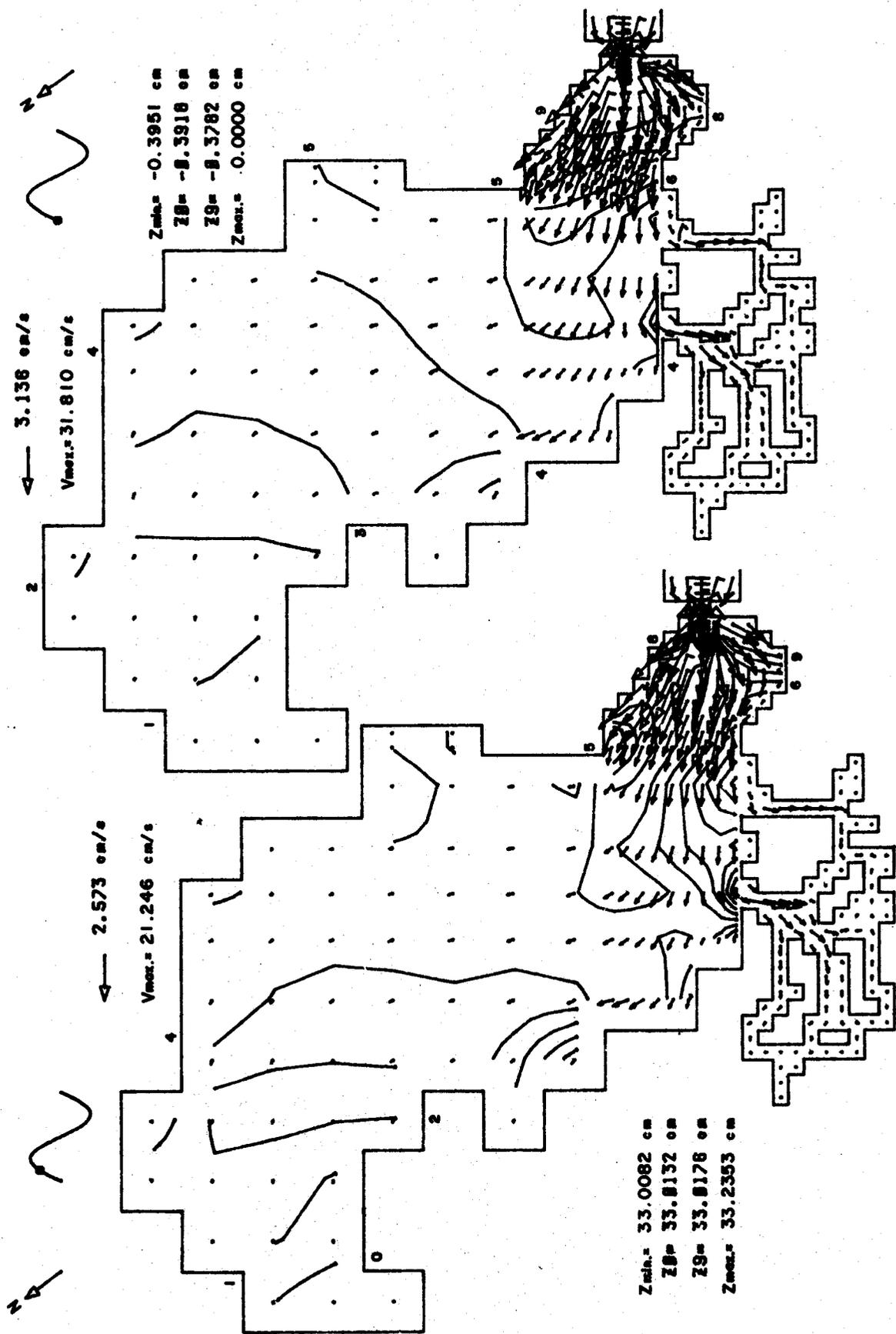


FIGURA 12.- PATRONES DE CIRCULACION Y DE ISOLINEAS DE NIVEL DE AGUA PRODUCIDOS POR UNA MAREA K1 DE 47 cm DE AMPLITUD

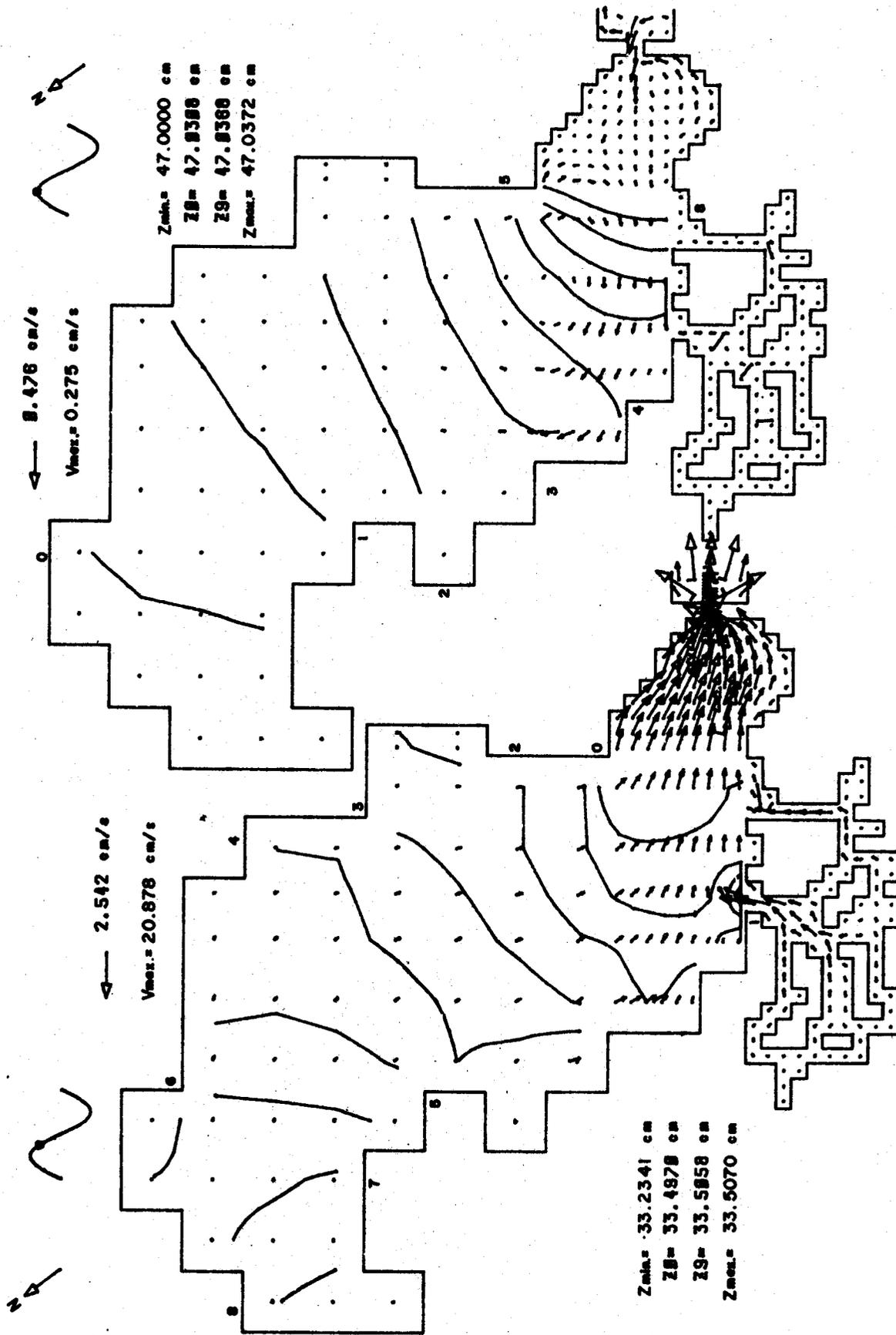


FIGURA 1: PATRONES DE CIRCULACION Y DE ISOLINEAS DE NIVEL DE AGUA PRODUCIDOS POR UNA MAREA K1 DE 47 cm DE AMPLITUD

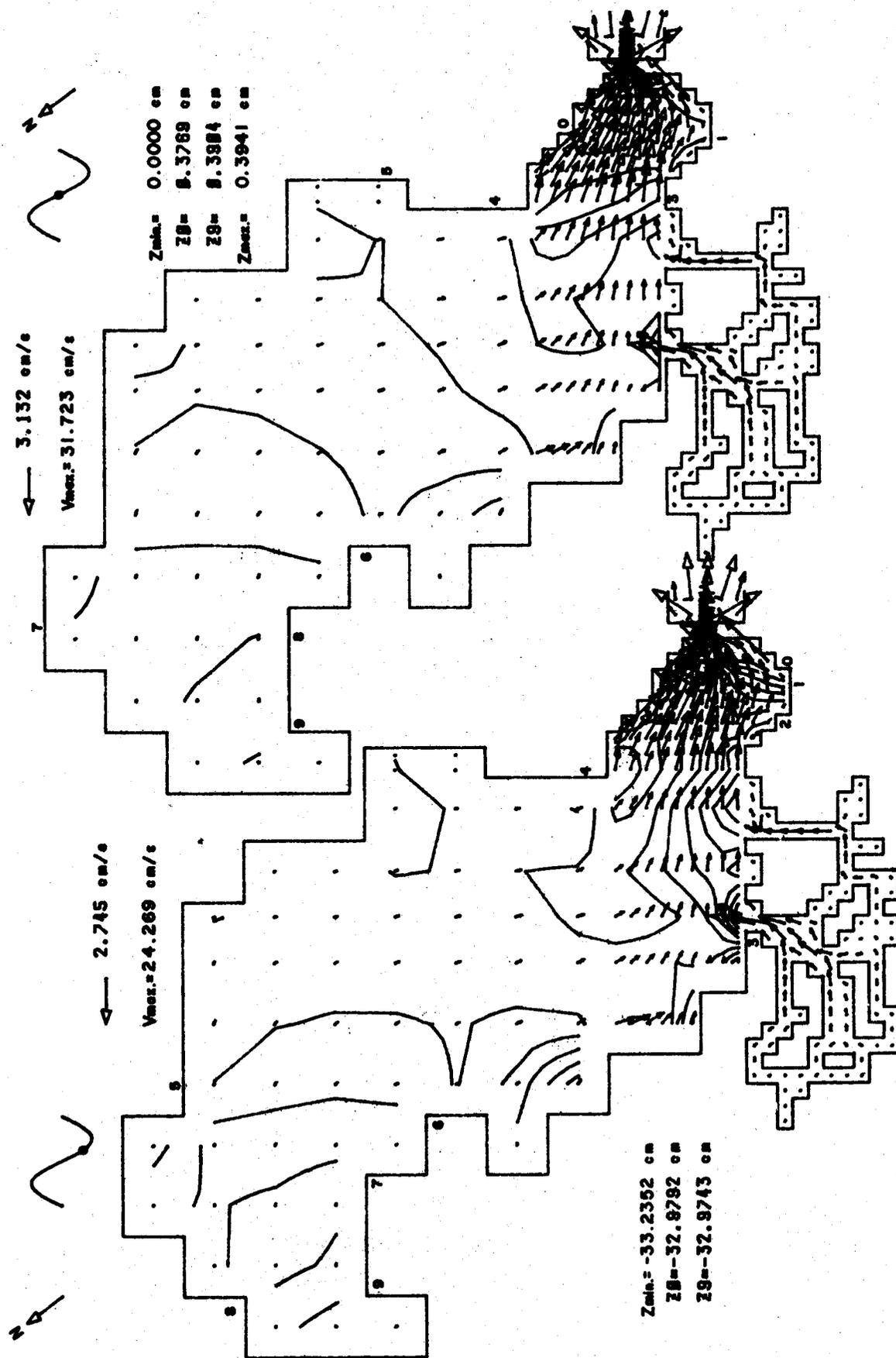


FIGURA 14.- PATRONES DE CIRCULACION Y DE ISOLINERS DE NIVEL DE AGUA PRODUCIDOS POR UNA MAREA KI DE 47 cm DE AMPLITUD

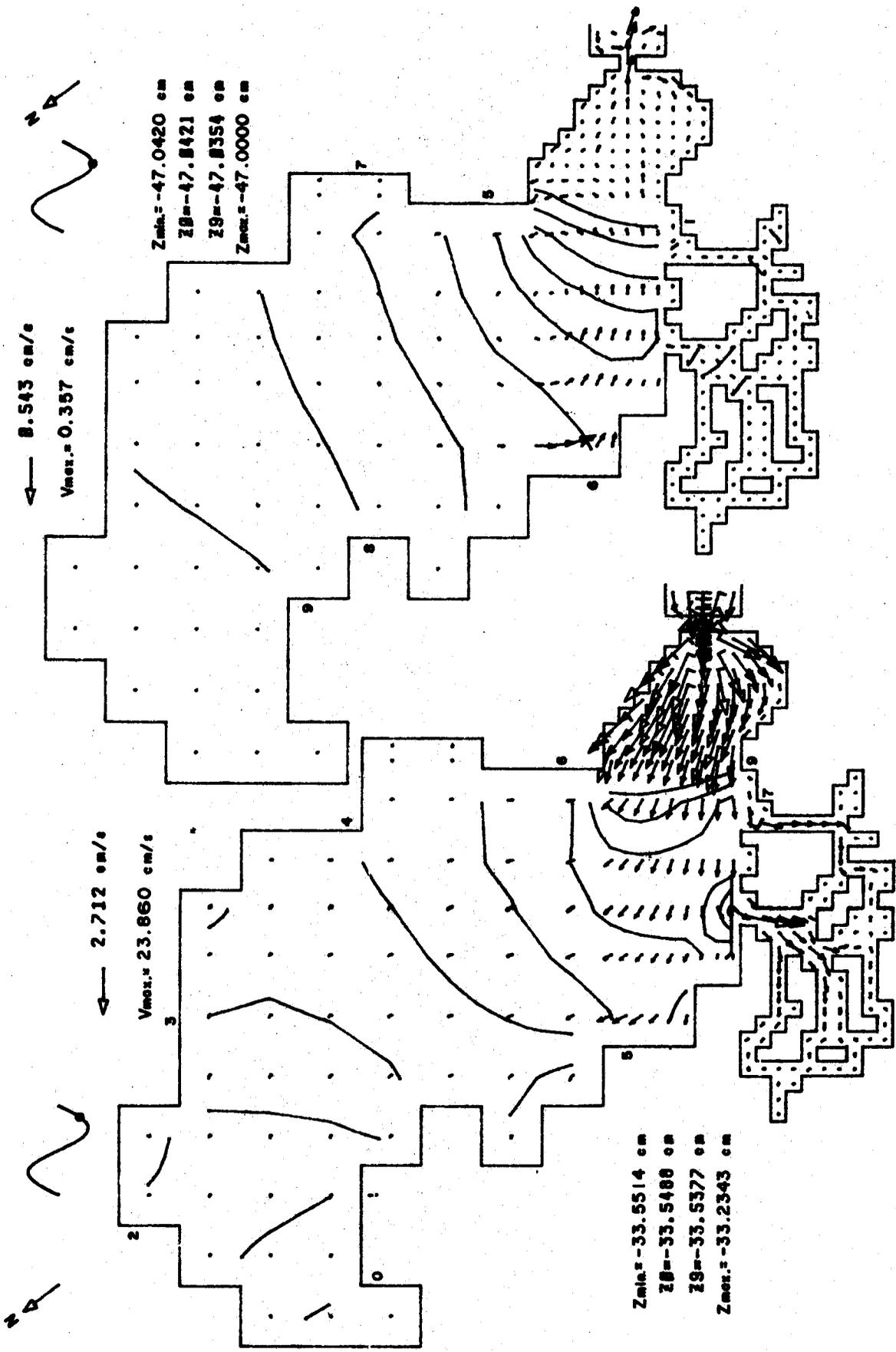


FIGURA 15.- PATRONES DE CIRCULACION Y DE ISOLINEAS DE NIVEL DE AGUA PRODUCIDOS POR UNA MAREA M1 DE 47 cm DE AMPLITUD

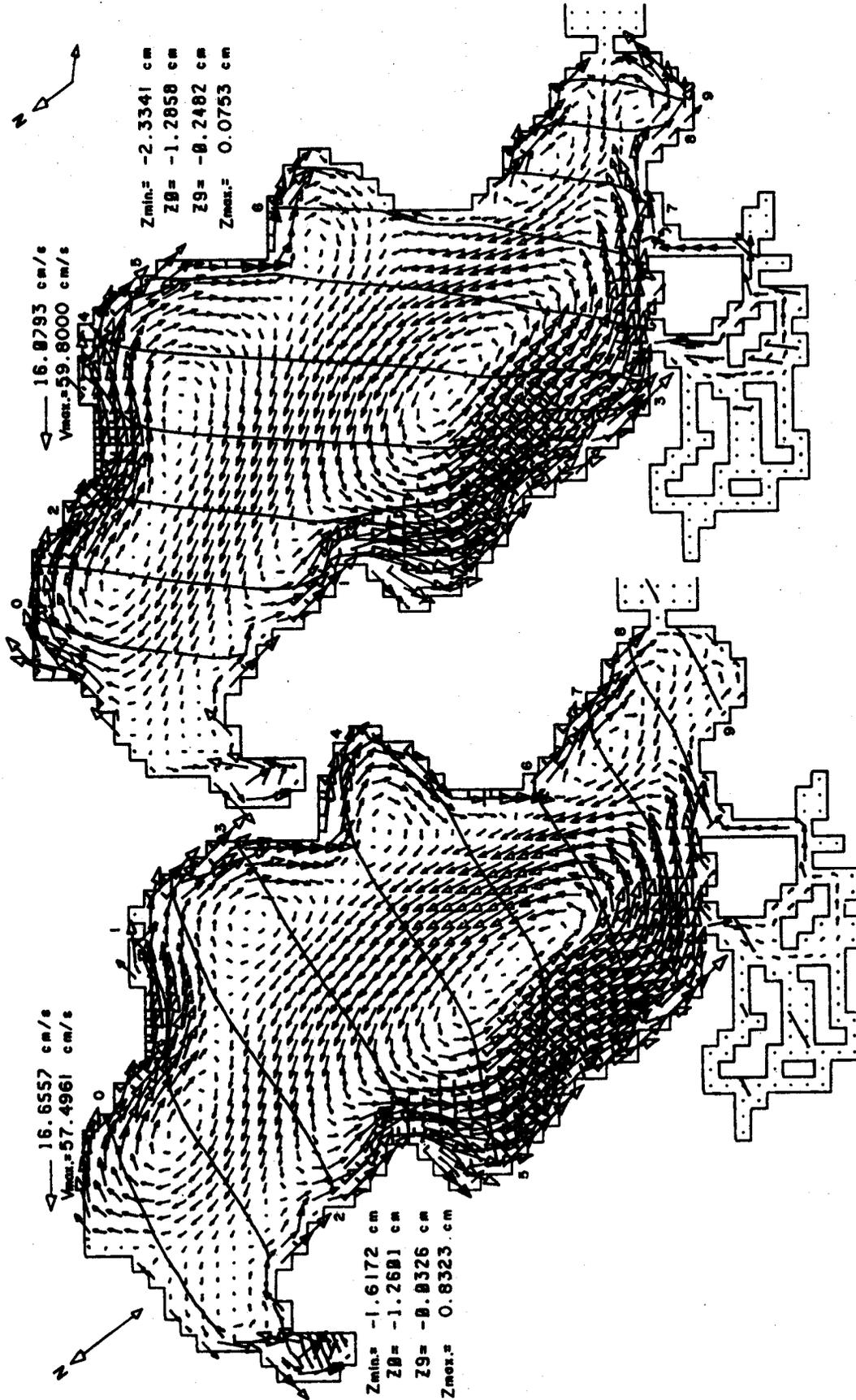


FIGURA 16.- PATRONES DE CIRCULACION Y DE ISOLINEAS DE NIVEL DE AGUA PRODUCIDOS POR VIENTOS DE 15 M/S

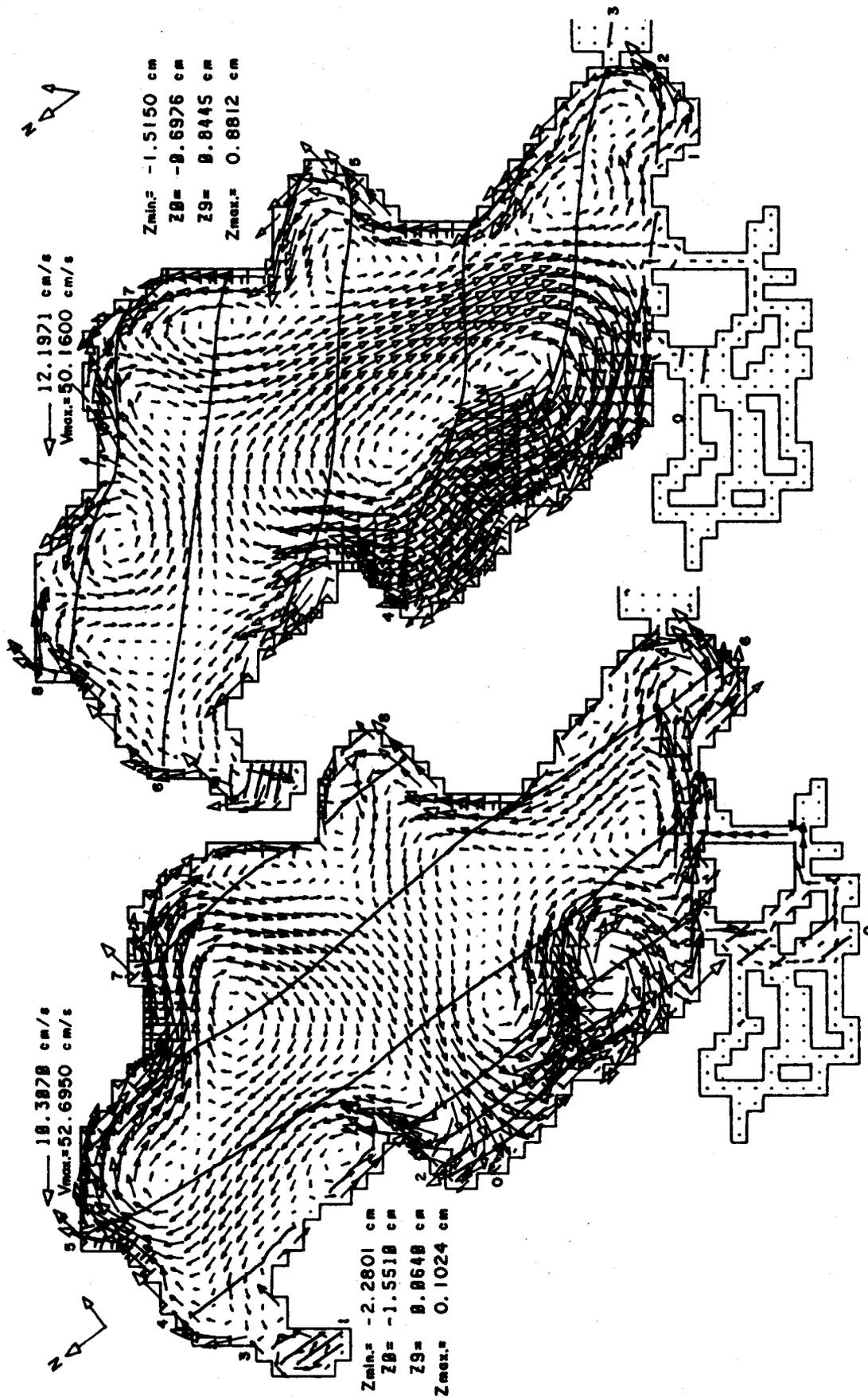


FIGURA 17.- PATRONES DE CIRCULACION Y DE ISOLINEAS DE NIVEL DE AGUA PRODUCIDOS POR VIENTOS DE 15 M/S

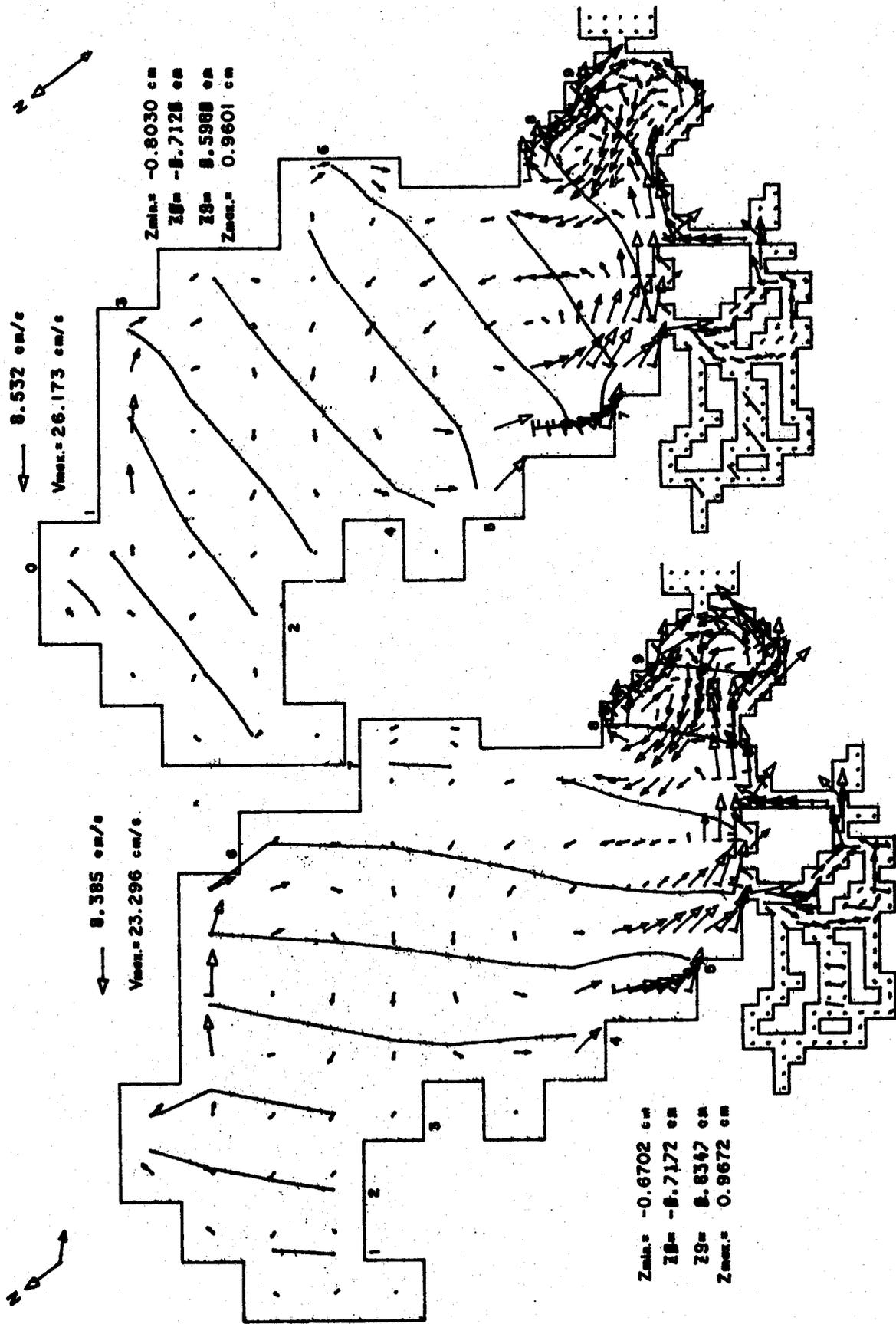


FIGURA 16.-PATRONES ESTACIONARIOS DE CIRCULACION Y DE ISOLINEAS DE NIVEL DE AGUA PRODUCIDOS POR VIENTOS DE 15 M/S

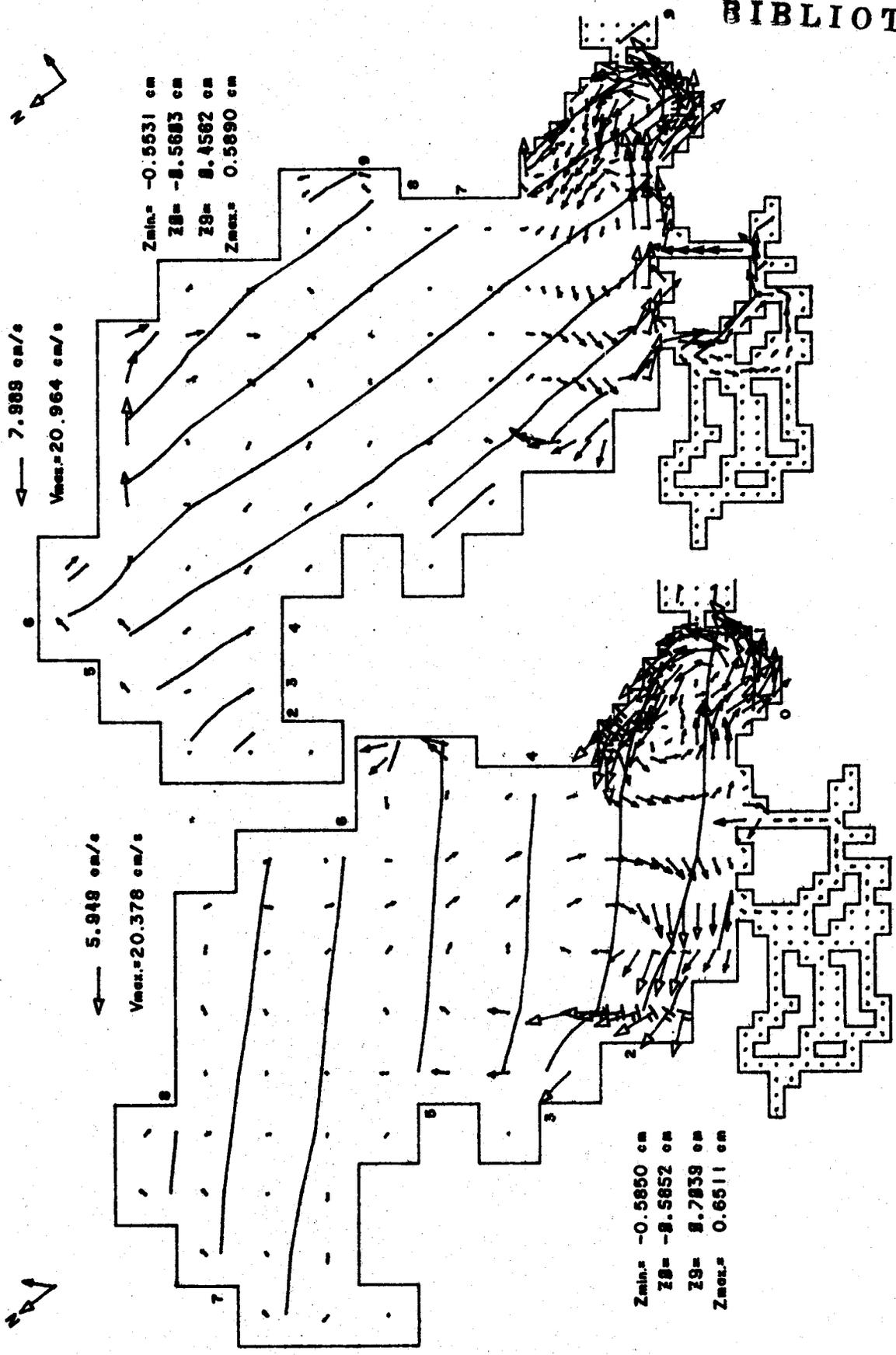


FIGURA 19.- PATRONES ESTACIONARIOS DE CIRCULACION Y DE ISOLINEAS DE NIVEL DE AGUA PRODUCIDOS POR VIENTOS DE 15 M/S

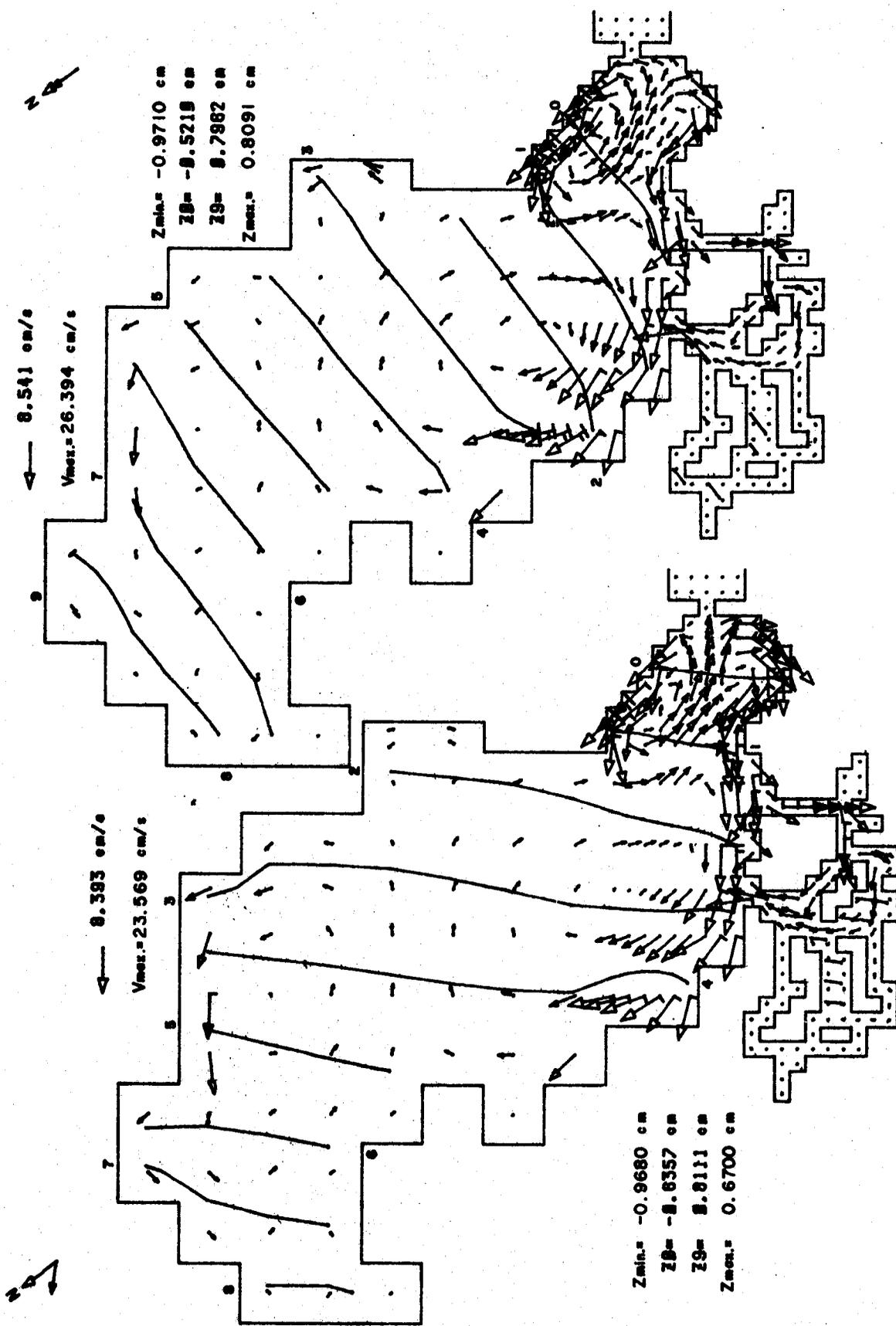


FIGURA 20.-PATRONES ESTACIONARIOS DE CIRCULACION Y DE ISOLINEAS DE NIVEL DE AGUA PRODUCIDOS POR VIENTOS DE 15 M/S

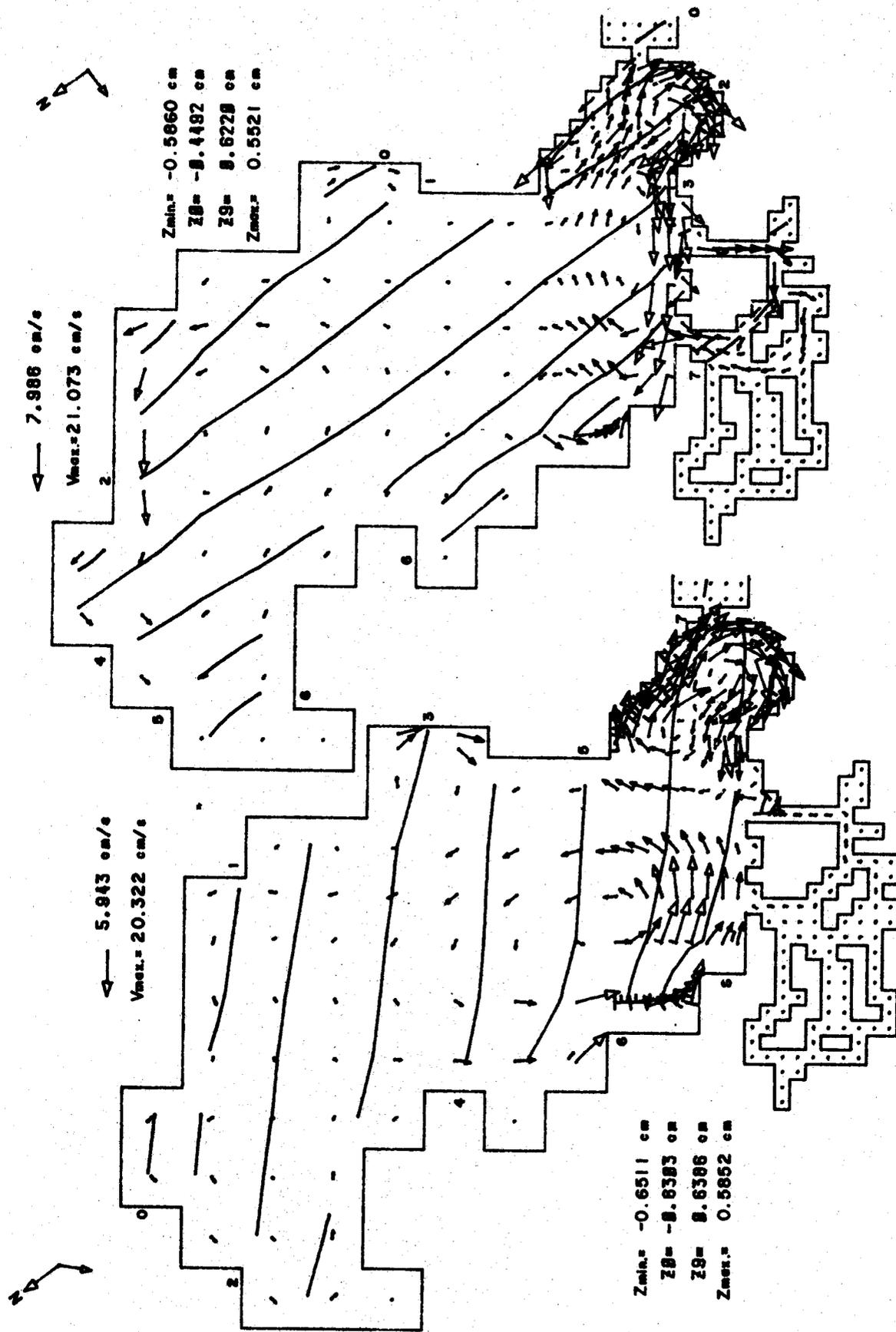


FIGURA 21.- PATRONES ESTACIONARIOS DE CIRCULACION Y DE ISOLINEAS DE NIVEL DE AGUA PRODUCIDOS POR VIENTOS DE 15 M/S

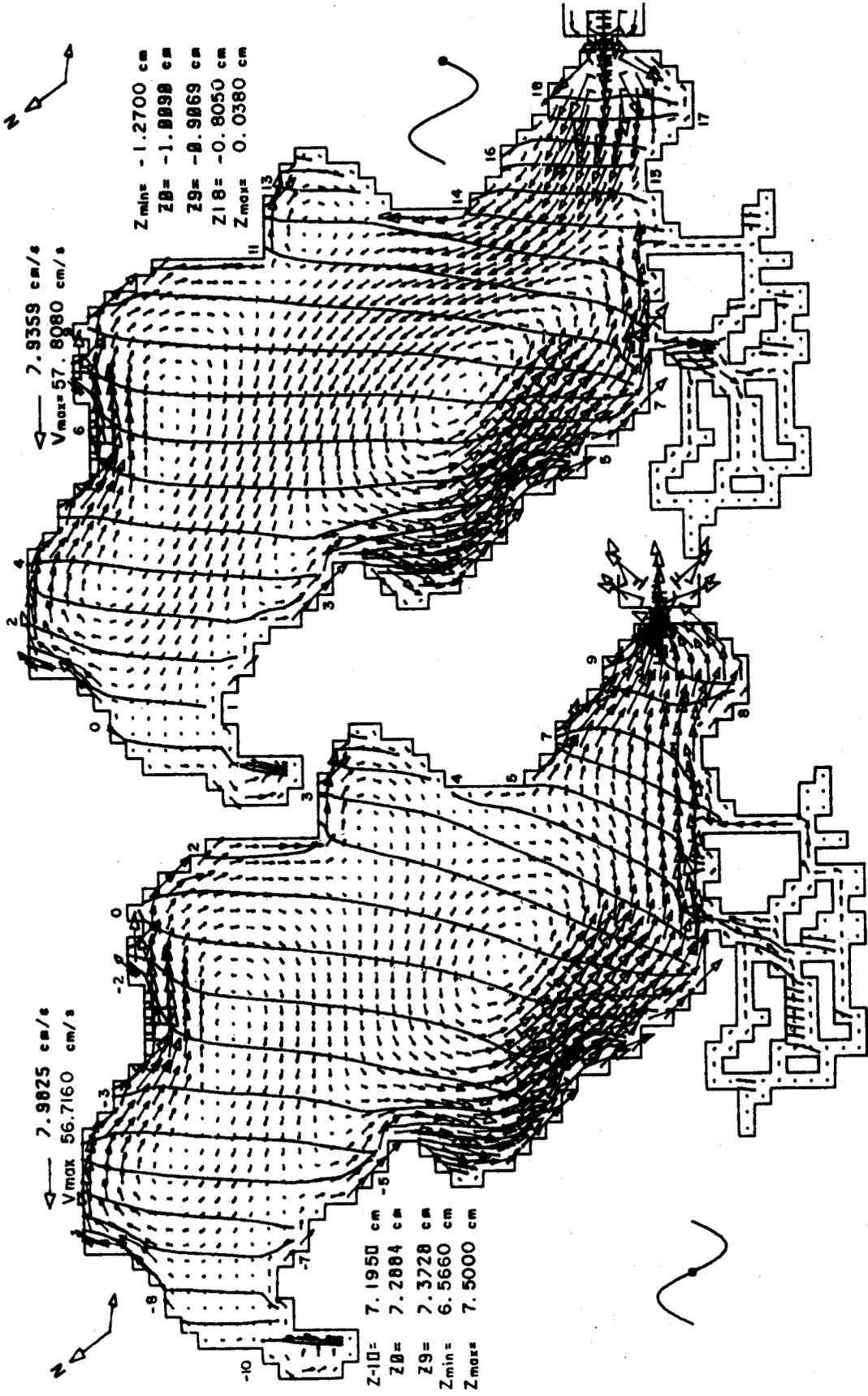


FIGURA 22.- PATRONES DE CIRCULACION Y DE ISOLINEAS DE NIVEL DE AGUA PRODUCIDOS POR LA ACCION CONJUNTA DE UNA MAREA M2 DE 47 CM DE AMPLITUD Y UN VIENTO DEL NOROESTE (NW) DE 6 M/S.

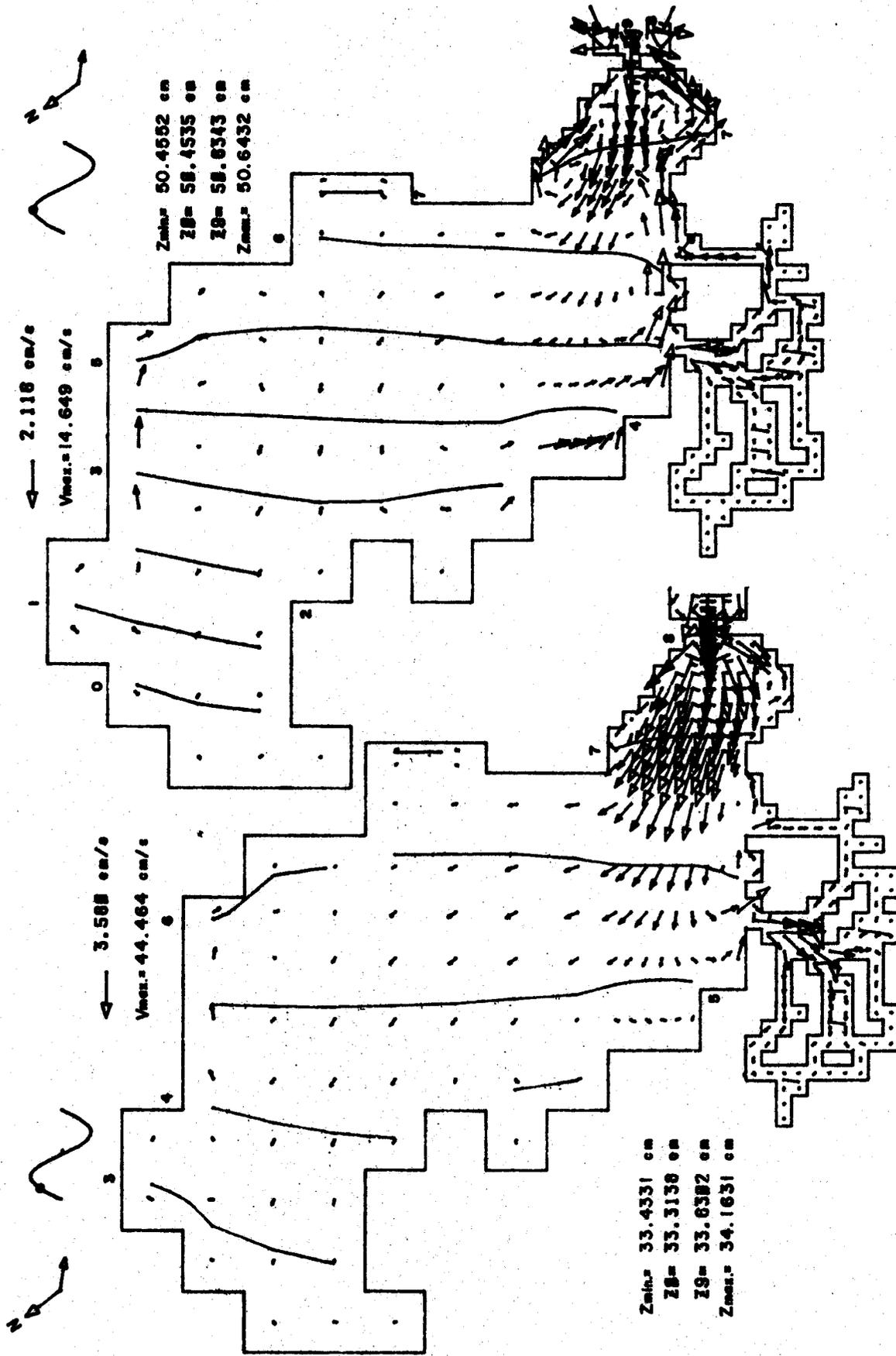


FIGURA 23.- PATRONES DE CIRCULACION Y DE ISOLINEAS DE NIVEL DE AGUA PRODUCIDOS POR LA ACCION CONJUNTA DE UNA MAREA M2 DE 47 cm DE AMPLITUD Y UN VIENTO DEL NOROESTE (NW) DE 6 m/s

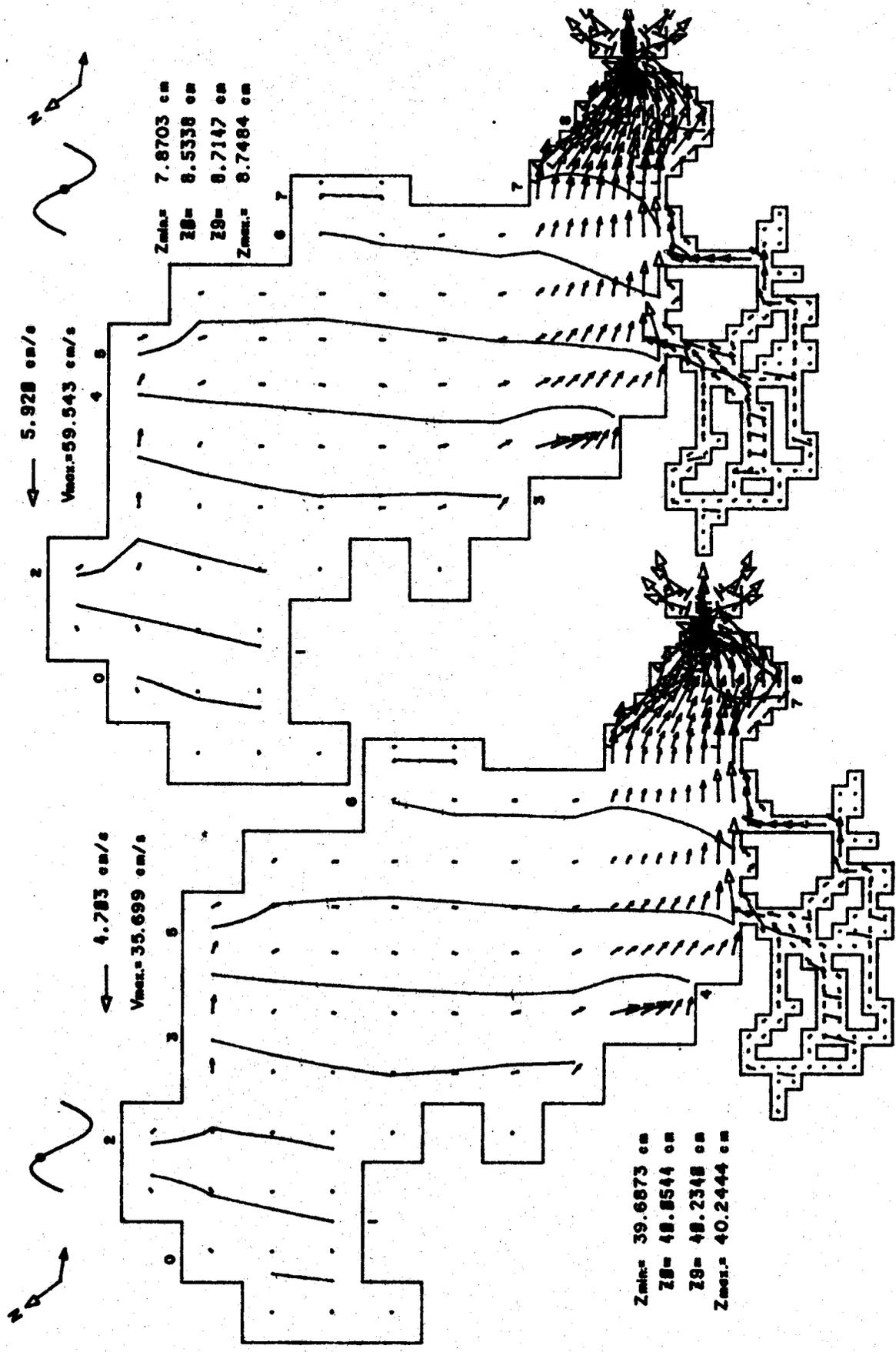


FIGURA 24.- PATRONES DE CIRCULACION Y DE ISOLINEAS DE NIVEL DE AGUA PRODUCIDOS POR LA ACCION CONJUNTA DE UNA MAREA M2 DE 47 cm DE AMPLITUD Y UN VIENTO DEL NOROESTE (NW) DE 6 m/s

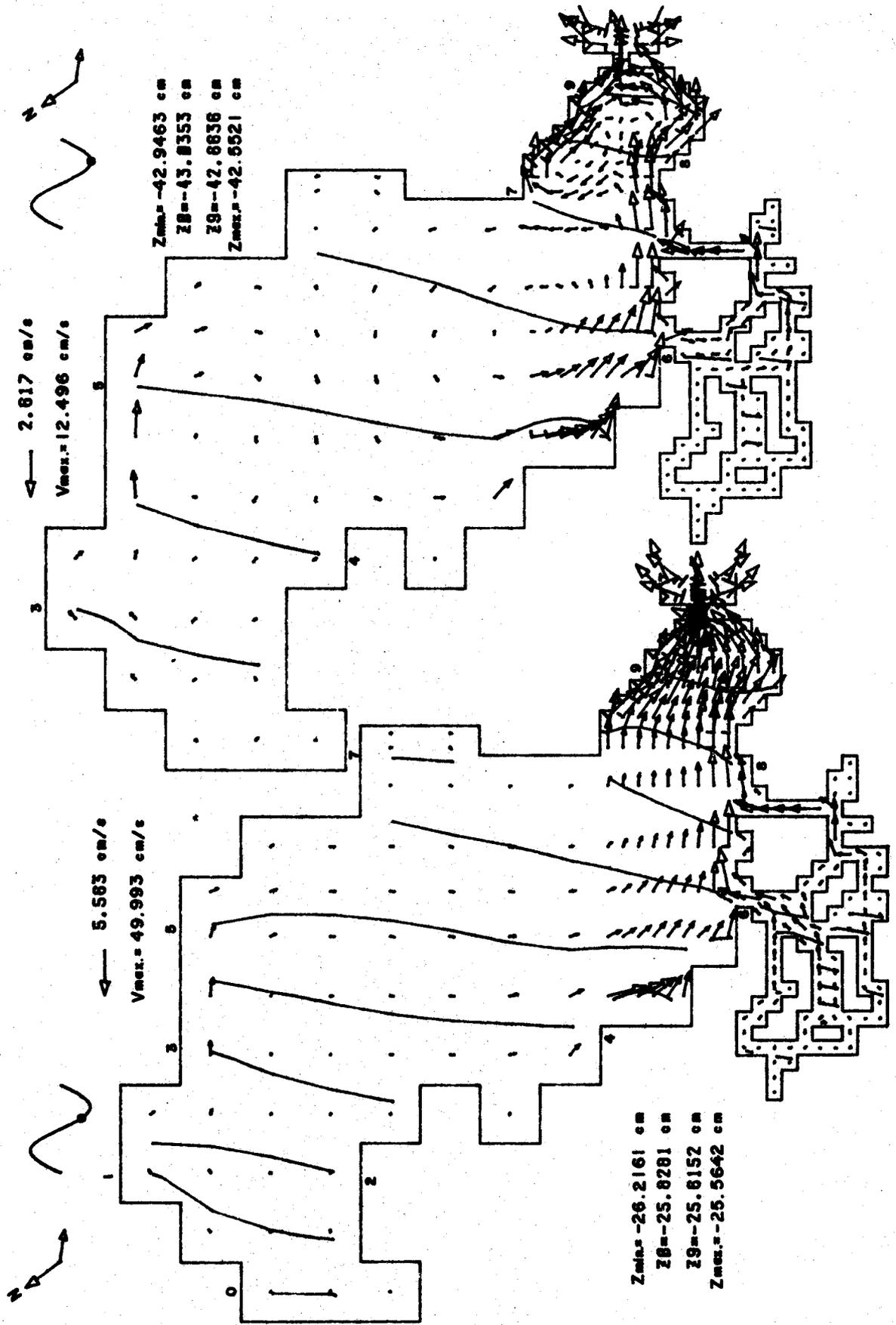


FIGURA 25.- PATRONES DE CIRCULACION Y DE ISOLINEAS DE NIVEL DE AGUA PRODUCIDOS POR LA ACCION CONJUNTA DE UNA MARERA M2 DE 47 cm DE AMPLITUD Y UN VIENTO DEL NOROESTE (NW) DE 6 m/s

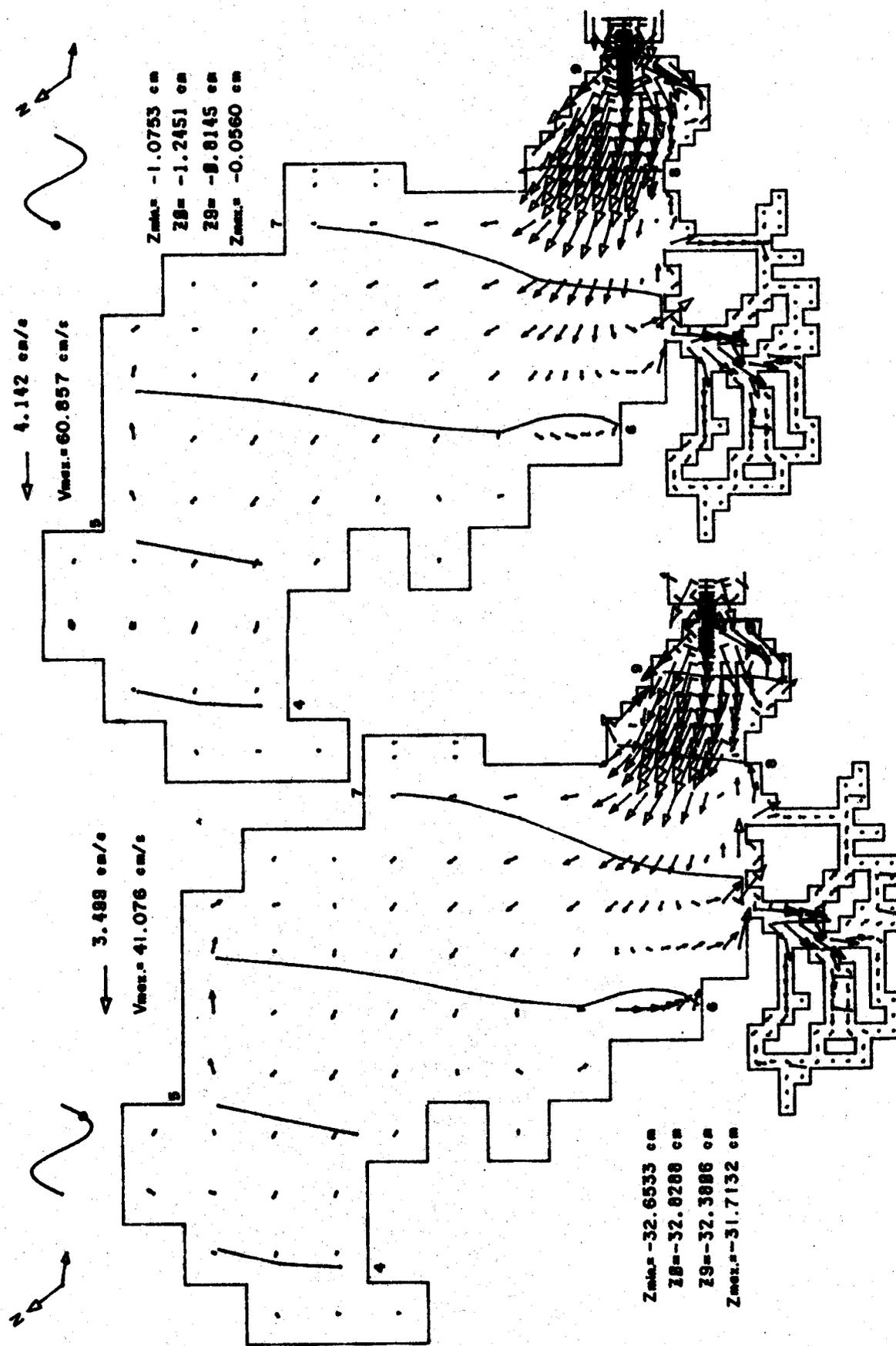
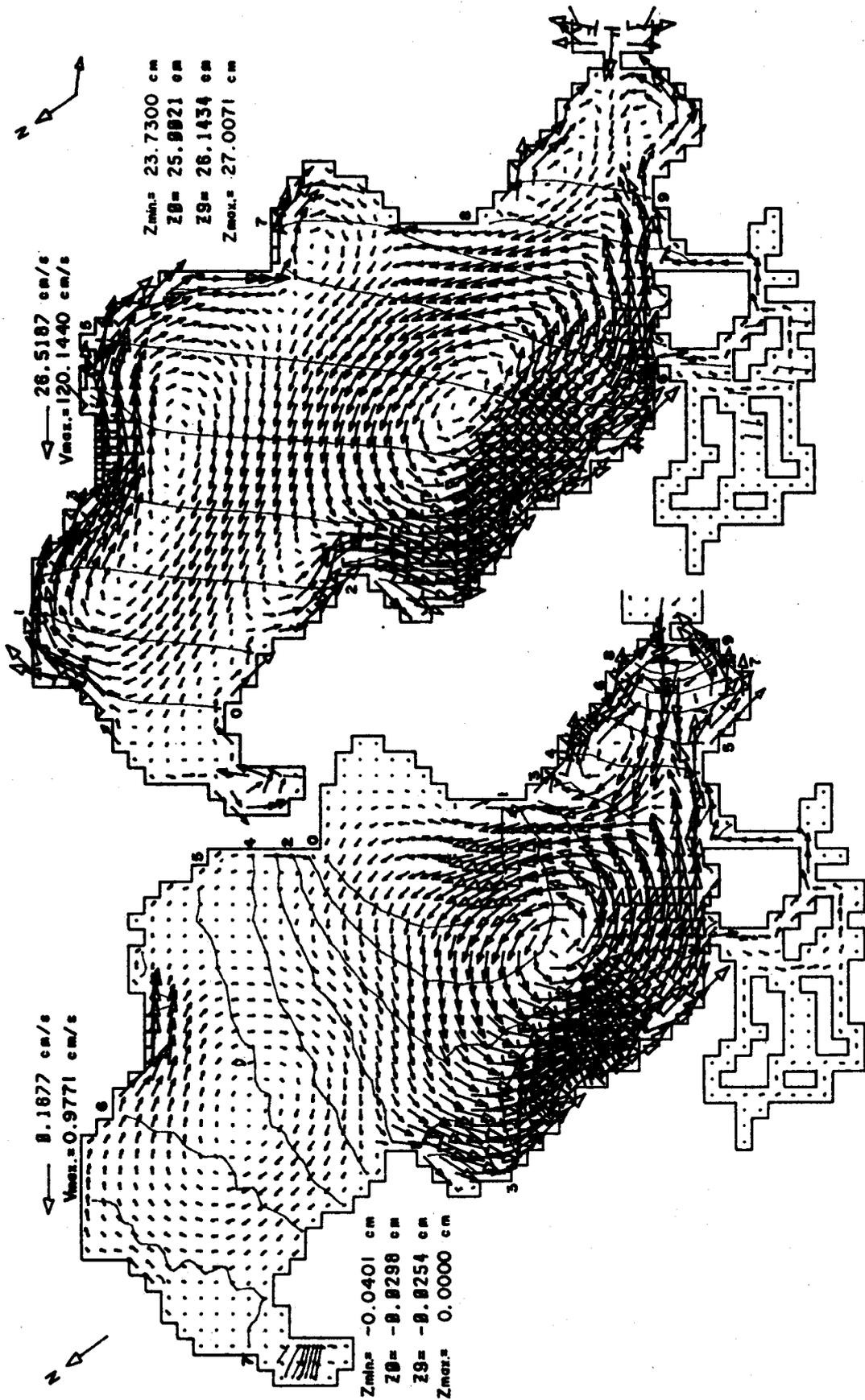


FIGURA 26.- PATRONES DE CIRCULACION Y DE ISOLINERS DE NIVEL DE AGUA PRODUCIDOS POR LA ACCION CONJUNTA DE UNA MAREA M2 DE 47 cm DE AMPLITUD Y UN VIENTO DEL NOROESTE (NW) DE 6 m/s



b)

a)

FIGURA 27.- PATRONES RESIDUALES DE CIRCULACION Y DE NIVELES DE AGUA EN UN PERIODO DE MAREA M2 DE 47 CM DE AMPLITUD
 a) AISLADA b) Y LA ACCION CONJUNTA DE UN VIENTO DEL NOROESTE (NW) DE 6 M/S.

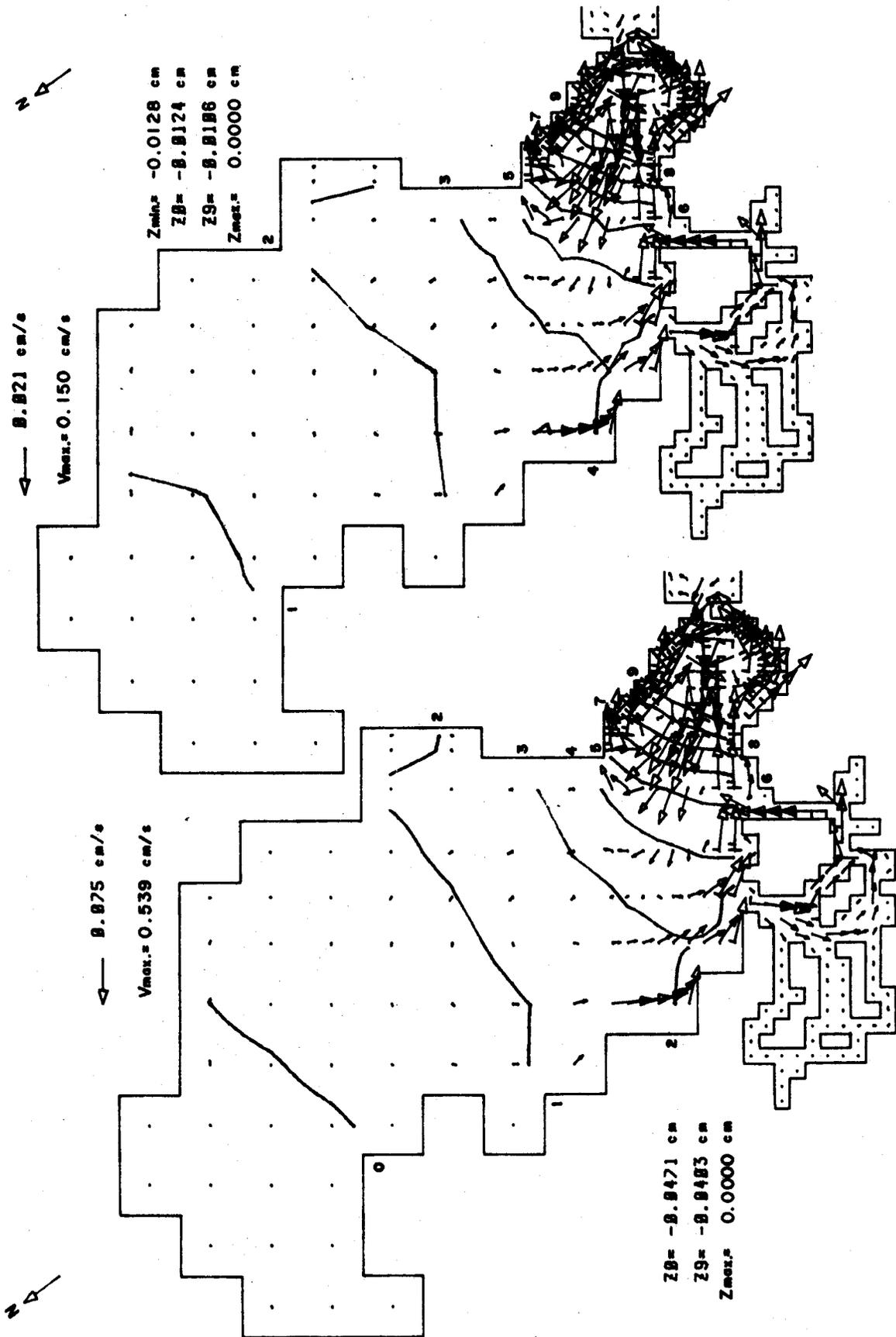


FIGURA 28-PATRONES RESIDUALES DE CIRCULACION Y DE NIVELES DE AGUA EN UN PERIODO DE MAREA M2 Y K1 DE 47 CM DE AMPLITUD

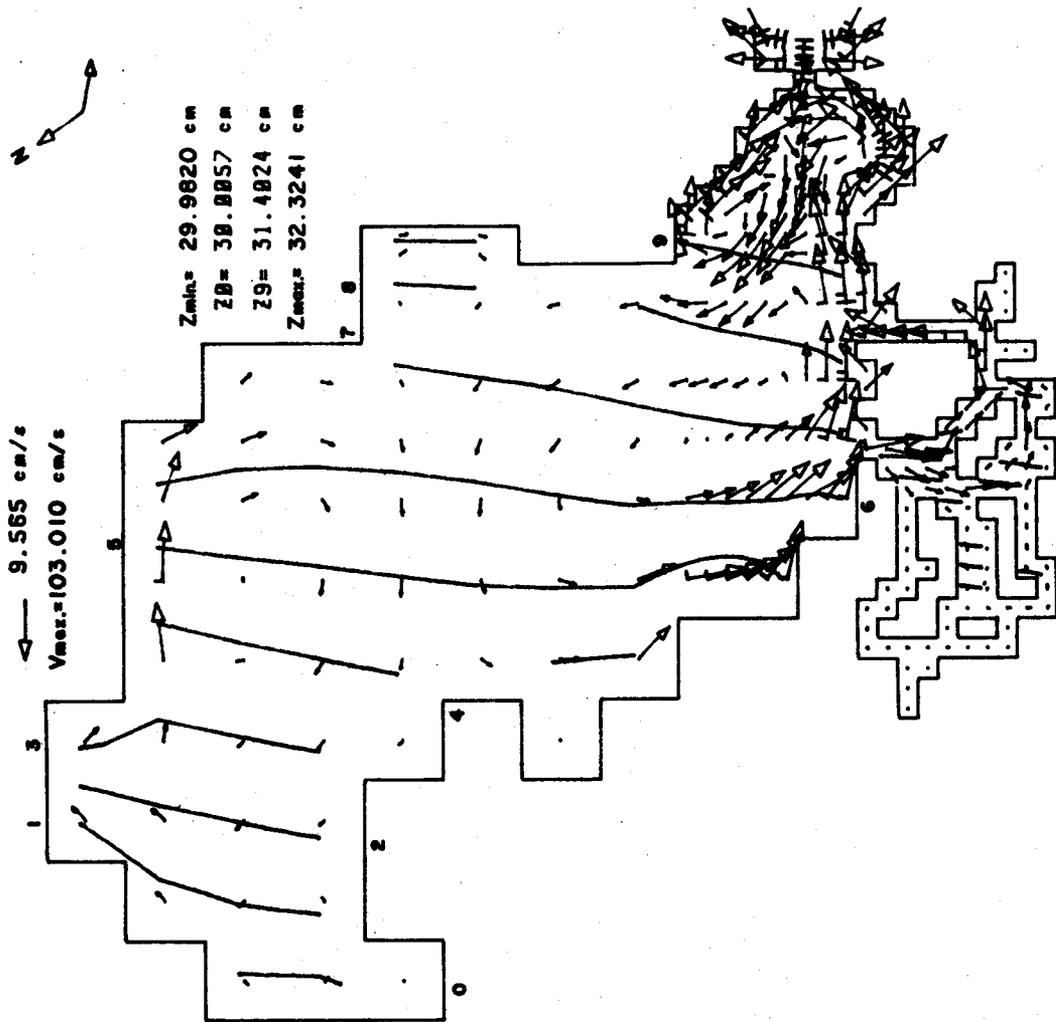


FIGURA 28 PATRON RESIDUAL DE CIRCULACION Y DE NIVELES DE AGUA EN UN PERIODO DE MAREA M2 DE 47 CM DE AMPLITUD BAJO LA ACCION CONJUNTA DE UN VIENTO DEL NOROESTE (NW) DE 6 M/S.