CENTRO DE RIVESTIGACIÓN CIENTIFICA Y DE EDUCACIÓN SUPERIOR DE ENSENADA

MODELD UNIDIMENSIONAL DE DESPERSION PARA UN ESTUARIO RAMPICADO Y SU APLICACION A BAHIA DE SAN QUINTIN

TESIS MAESTRIA EN CIENCIAS

MIGUEL MARIO JUAREZ VILLARREAL

RESUMEN de la Tesis de Miguel Mario Juárez Villarreal presentada como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRO EN CIENCIAS en OCEANOGRAFIA con opción en OCEANOGRAFIA FISICA. Ensenada, Baja California, México. Junio de 1982.

MODELO UNIDIMENSIONAL DE DISPERSION PARA UN ESTUARIO RAMIFICADO Y SU APLICACION A BAHIA DE SAN QUINTIN.

Resumen aprobado por: M.C. Salvador Farreras S. Director de Tesis

Se ha desarrollado un modelo numérico para ser aplicado a un estuario, con una ramificación, cuya dinámica pueda ser considerada en una sola dimensión, haciendo uso de las ecuaciones de continuidad de masa, de balance de sal y de contaminante; y con el objeto de estimar el comportamiento de un contaminante introducido como una fuente instantánea en un segmento del estuario.

Se hace uso de la técnica de diferencias finitas para resolver las ecuaciones diferenciales de éste. La validez del modelo se prueba aplicándolo a la Bahia de San Quintín, utilizando para ello los datos obtenidos durante la campaña de medición de parámetros físicos de julio de 1977.

CENTRO DE INVESTIGACION CIENTIFICA Y DE EDUCACION SUPERIOR DE ENSENADA

DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA

MODELO UNIDIMENSIONAL DE DISPERSION PARA UN ESTUARIO RAMIFICADO

Y SU APLICACION A BAHIA DE SAN QUINTIN.

TESIS

que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de MAESTRO EN CIENCIAS presenta

NIGUEL MARIO JUAREZ VILLARREAL

Ensenada, B.C., Junio de 1982.

TESIS APROBADA PARA SU DEFENSA POR: Salvador Farreras Sanz, Director del Comité des, Miembro del Comité M. C. José Gome Ing. Marco Antonio Uribe Rojo, Miembro del Comité <u>GUSTAUD</u> <u>AUVAICZ</u> M. C. Luis Gustavo Alvarez Sánchez, Miembro del Comité M. C. Armando Albores León, Miembro del Comité M Ing. Marco Antonio Uribe Rojo, Director del Departamento de Oceanografía Emz Guilt. arrille Barrios-Gómez, Coordinador Académico Dr. Enrique Carrillo

Tesis presentada en julio 2, 1982.

A ROSA MARIA.

AGRADECIMIENTOS

A mi asesor y director de tesis M.C. Salvador Farreras S. por el gran apoyo recibido de él durante el desarrollo de este trabajo y particularmente durante la fase final del mismo.

Al Ing. Marco Antonio Uribe por su ayuda e interês, invaluables, en el desarrollo de mis estudios.

A los miembros de mi comité de tesis José Gómez Valdéz, Armando Albores L. y Luis Gustavo Alvarez, por su dedicación en la revisión, crítica y sugerencias a este trabajo.

A todos los miembros de la Coordinación Académica del Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, por su paciencia y apoyo durante mi estancia en este Centro.

Y finalmente a mis amigos Angel R. Jiménez Illescas, Edgar O. Blessing G. y Fernando Hernández D., por su compañerismo y amistad desinteresadas.

A todos ellos... GRACIAS!

CONTEN IDO

<u>Página</u>

| I. | Introducción. | 1 |
|-----|--|----|
| II. | Modelo Numérico. | 5 |
| | II.1. Derivación de las Ecuaciones. | 5 |
| | II.2. Condiciones de Frontera. | 19 |
| | II.3. Solución Numérica. | 20 |
| III | . Aplicación a Bahia de San Quintin. | 26 |
| * | III.1. Generalidades. | 26 |
| | III.2. Descripción del Area de Estudio y Antecedentes. | 27 |
| | III.3. Dispersión en San Quintín. | 31 |
| IV. | Discusión. | 62 |
| | Literatura Citada. | 74 |
| | | |

Apéndice.

LISTA DE FIGURAS.

| <u>Figu</u> | | <u>Página</u> |
|-------------|--|---------------|
| 1 | Esquematización de un estuario ramificado y notación utilizada en este modelo. | 6 |
| 2 | Ajuste de la Curva de Gastos vs. Tiempo. | 2 5 |
| 3 | Mapa de la región de Bahia de San Quintin. | 28 |
| 4 | Segmentación de Bahla de San Quintin. | 36 |
| 5 | Comparación entre los valores observados y los calculados por el modelo no estacionario,para: a) segmento 5, b) segmento 6 y c) segmento 7. (Inyección en 6). | 37 |
| б | Comparación entre los valores observados y calculados por el modelo no estacionario,para: a) segmento 2, b) segmento 3 y c) segmento 4. (Inyección en 6). | 38 |
| 7 | Comparación entre los valores observados y los calculados por el modelo estacionario, para: a) segmento 5, b) segmento 6 y c) segmento 7. (Inyección en 6). | 39 |
| 8 | Comparación entre los valores observados y los calculados por el modelo estacionario, para: a) segmento 2, b) segmento 3 y c) segmento 4. (Inyección en 6). | 40 |
| 9 | Resultados del modelo estacionario y del no estacionario con inyección en el segmento 6: a) segmentos 2,4 y 6 y b) segmentos 3,5 y 7. | 42 |
| 10 | Variación temporal de concentración de tinta. a) modelo estacionario y b) modelo no estacio- nario. | 44 |
| 11 | Variación temporal de concentración relativa (referida a la máxima en el segmento) para diferentes segmentos de la Bahía,con inyección en segmento 6. (Modelo no estacionario). | 46 |
| 12 | Resultados del modelo al aplicarlo al segundo periodo. a) segmento 15, b) segmento 16 y c) segmento 17. (Inyección en cabeza de Bahía San Quintín). | 48 |

LISTA DE FIGURAS (Cont.).

Figura

49

52

53

54

55

- 13 Resultados del modelo al aplicarlo al segundo periodo. a) segmento 12, b) segmento 13 y c) segmento 14. (Inyección en cabeza de Bahia San Quintin).
- 14 Variación temporal de concentración relativa (referida a la máxima en el segmento) para diferentes segmentos de la Bahía, con inyección en: a) segmento 2, b) segmento 3.
- 15 Variación temporal de concentración relativa (referida a la máxima en el segmento) para diferentes segmentos de la Bahia, con inyección en: a) segmento 5, b) segmento 7.
- 16 Variación temporal de concentración relativa (referida a la máxima en el segmento) para diferentes segmentos de la Bahía, con inyección en: a) segmento 9, b) segmento 11.
- 17 Variación temporal de concentración relativa (referida a la máxima en el segmento) para diferentes segmentos de la Bahia, con inyección en: a) segmento 13, b) segmento 15.
- 18 Variación temporal de concentración relativa para diferentes segmentos de la Bahía, con inyección en segmento 17.
- 19 Variación de concentración relativa en toda la Bahía para diferentes segmentos de inyección. 63
- 20 Segmentación de Bahia de San Quintín según rapidez de evacuado del trazador. 65

LISTA DE TABLAS.

| <u> Fabla</u> | | <u>Página</u> |
|---------------|---|---------------|
| I | Tiempos de Ocurrencia de Máximos en la Bahia. (Según Modelo No-estacionario). | 47 |
| II | Distribución de Tinta Para Cada Rama. Inyección en Bahía Falsa y Boca. | 59 |
| III | Distribución de Tinta Para Cada Rama. Inyección en Bahla San Quintín. | 61 |
| IV | Vidas Medias, Cuartas y Octavas Para Todo el Estero, Para Inyección en Diferentes Segmentos. | 64 |

MODELO UNIDIMENSIONAL DE DISPERSION PARA UN ESTUARIO RAMIFICADO Y SU APLICACION A BAHIA DE SAN QUINTIN.

I. INTRODUCCION.

Con el advenimiento y como consecuencia del desarrollo alcanzado por las computadoras electrónicas en lòs últimos años, la utilización de modelos numéricos para el estudio de problemas oceánicos y particularmente de estuarios y lagunas costeras ha ido en aumento.

Este tipo de modelos ofrece multiples ventajas sobre los modelos analíticos y los modelos hidráulicos a escala. Con los primeros se tiene la limitación de que la solución exacta de las ecuaciones diferenciales es posible solamente para problemas muy simples; y en los casos más complicados, las simplificaciones que hay que hacer para integrar no permiten obtener aproximaciones cercanas al caso real. Los modelos fisicos, por otra parte, se utilizan aun frecuentemente, aunque existen parámetros difíciles de representar a 1 a escala adecuada y a riesgo de los altos costos, solamente en casos en que la inversión económica en la obra simulada, y a construir, asi los justifique.

modelos numéricos permiten estudiar Los problem as específicos y predecir el comportamiento de diferentes parametros aun en condiciones posibles, no existentes todavia en la realidad, a un costo relativamente bajo. Entre muchos otros se pueden citar los siguientes: aplicados al estudio de propagación de la onda de marea en embalses (Dronkers, 1969), al flujo residual inducido por marea (Van de Kreeke y Chiu, 1980), al estudio de circulación de estuarios de dos o más capas (Pritchard, 1969). Se han elaborado también modelos integrados verticalmente para estudios de corrientes en embalses y zonas (Heaps, 1969; Backhaus, 1980). someras También se han desarrollado modelos bidimensionales no acoplados para predecir la estructura vertical de diferentes flujos en estuarios (Wilson, 1973; Elliott, 1975).

Especificamente para aplicarse a sistemas estuarinos, podemos mencionar entre otros, los modelos que se han desarrollado en tres dimensiones por Caponi (1976) y Heaps (1980). Los modelos tridimensionales pueden reproducir con gran aproximación condiciones reales pero tienen la desventaja de requerir gran cantidad de memoria, con el consiguiente costo de computación, además de requerir bastantes datos de buena calidad para su debido ajuste y calibración (Elliott, 1976).

Un modelo puede ayudar a la toma de decisiones en cuanto al manejo de un estuario, ya que es posible una vez calibrado

con datos reales medidos 1 a s mismas condiciones bajo hidrodinámicas que el modelo, pasar a la etapa predictiva y estudiar situaciones probables varias para ver 1 a s posibilidades de mejorar las condiciones físicas y químicas y poder asi aprovechar plenamente los recursos, ya sea que se piense en explotarlos turística, comercial o industrialmente; o preservar el medio ambiente contra situaciones de contaminación.

Como una aproximación a una situación real característica, se pueden hacer algunas suposiciones y simplificar la complejidad de un problema dado, para facilitar su resolución aproximada. Así, por ejemplo, si algunos estuarios presentan un ancho relativamente pequeño comparado con su longitud y sus características verticales son más significativas que las laterales, es posible tratarlos bajo un esquema bidimensional; para algunos otros, se puede adicionalmente ignorar las variaciones verticales y considerar propiedades promediadas seccional y verticalmente, teniéndose entonces un comportamiento unidimensional.

El modelo que aqui se presenta corresponde a un esquema unidimensional ramificado, e intenta predecir la dispersión de un contaminante introducido en un punto de un estero ramificado, se desarrolla en base a las derivaciones de Pritchard (1979): se aplican las ecuaciones de conservación de

masa de agua, de sal y contaminante a un estuario principal y su tributario. La verificación del funcionamiento del modelo que se desarrolla en este trabajo se efectúa aplicándolo a Bahía de San Quintín, utilizando los datos obtenidos en la campaña de medición de julio de 1977 realizada por el grupo de Hidrodinámica de Lagunas Costeras del CICESE. II. MODELO NUMERICO.

II.1 Derivación de las ecuaciones.

En la derivación que sigue se asumira que el estero tiene un ancho pequeño en su canal de transporte, comparado con su longitud y por ello los gradientes transversales de sus propiedades son despreciables; es decir, es posible considerar unicamente una variación longitudinal de los diferentes parametros. Esto se supone con el propósito de hacer más fácil la derivación de las ecuaciones y su integración, y para considerar una primera aproximación al comportamiento real del estero en situaciones de contaminación.

Considérese un estero como el esquematizado en la figura 1. Se ha dividido el interior del estero en N-3 segmentos. Los tres segmentos adicionales incluidos en el modelo para considerar los requerimientos de borde, son: uno situado en el océano adyacente justo afuera de la boca del estero, y otros dos que son seudo-segmentos localizados en tierra, en la cabeza de cada una de las ramas del estero. Para identificarlos adecuadamente a los segmentos se les pone indices, de modo tal que al segmento oceánico le corresponde I=1. Incluyendo este



Segmento Oceánico

Figura 1.- Esquematización de un estuario ramificado y notación utilizada en este modelo.

segmento hay NB segmentos a lo largo del canal principal hasta incluir el segmento en el cual ocurre la ramificación; este proceso de poner indices continua hacia la rama principal del estero que tiene N1 segmentos, de manera tal que el primer seudo-segmento es designado como I=NB + N1 + 1. El brazo secundario tiene N2 segmentos y el indice para este brazo empieza en I=NB + N1 + 2 y termina en I=NB + N1 + N2 + 1, en tanto que para el segmento terrestre es I=NB + N1 + N2 + 2=N (ver figura 1).

Todos los segmentos deben ser aproximadamente de la misma longitud y su extensión se determinara de modo que sus características topobatimétricas varien poco en el interior de cada uno de ellos.

NOMENCLATURA:

Se definen las siguientes variables:

A(I)....Area del I-Esimo segmento.

V(I)....Volumen de I-ésimo segmento.

S(I)....Salinidad media del I-ésimo segmento.

Q(L,K)..Descarga del segmento L a un segmento adyacente

К.

E(I)....Razón lineal de evaporación del segmento I.

QE(I)...Descarga por evaporación de la superficie del Iésimo segmento.

ξ(I)....Concentración media de un contaminante en el I-é simo segmento.

y además E(I) y QE(I) están relacionados por:

$$QE(I) = A(I) \times E(I)$$
 (1)

donde E(I) se evalúa por medio de la expresión empírica desarrollada en 1942 por el U.S. Geological Survey:

-6E(I) = 4.283 x 10 x W x (Ese - Ea)

que considera la velocidad del viento (W) y además la temperatura del aire, humedad relativa y temperatura superficial del agua en el estero aplicables en la determinación de las presiones de vapor saturado sobre la superficie (Ese) y la observada en el aire a seis metros arriba de la superficie (Ea).

También, designamos:

NE1=NE + N1

y notanos que:

N = ND + N1 + N2 + 2

.

Se definen además las siguientes cantidades:

$$SV(I) = \sum_{K=1}^{NB1} V(K) \qquad para NB+1 \leq I \leq NB1 \qquad (2.a)$$

como el volumen total desde la cabeza hasta el segmento I dentro de la rama principal,

$$SV(I) = \sum_{K=1}^{N-1} V(K) \qquad para ND1+2 \langle I \langle N-1 \rangle (2.b)$$

como el volumen total desde la cabeza hasta el I-ésimo segmento dentro de la otra rama, y

$$SV(I) = \sum_{k=1}^{101} V(K) + SV(NB1+2) \text{ para } 2\xi I \xi NB$$
 (2.c)

como el volumen acumulado desde las cabezas de ambas ramas del estero hasta el segmento I comprendido entre la boca y la ramificación. Además, las cantidades totales de sal acumuladas desde la cabeza hasta los diferentes segmentos serán, para los mismos casos anteriores:

$$SS(I) = \sum_{k=1}^{NBI} \{V(K) \times S(K)\} \quad \text{para NB} + 1 \leq I \leq NB1 \quad (3.a)$$

$$SS(I) = \sum_{k=1}^{N-1} \{V(K) \times S(K)\} \quad \text{para NB} 1 + 2 \leq I \leq N-1 \quad (3.b)$$

$$SS(I) = \sum_{K=1}^{NB1} \{V(K) \le S(K)\} + SS(NB1+2) \text{ para } 2\{I\{NB\}\} (3.c)$$

también,

$$SQE(I) = \sum_{k=1}^{NB1} QE(K) \qquad para NB+1 \langle I \langle NB1 \rangle \qquad (4.a)$$

serán los volumenes de agua del estero evaporados por unidad de tiempo desde la cabeza hasta el segmento en consideración dentro de la primera rama,

$$SQE(I) = \sum_{k=1}^{N-1} QE(K) \qquad para NE1+2 \langle I \langle N-1 \rangle (4.b)$$

como las descargas por evaporación acumuladas desde el seguento I de la otra rama hasta la cabeza de la misma, y finalmente:

$$SQE(I) = \sum_{k=1}^{NB1} QE(K) + SQE(NE1+2) \quad para 2 \langle I \langle NE \rangle (4.c)$$

serà el volúmen de agua evaporado por unidad de tiempo desde las cabezas hasta el I-ésimo segmento comprendido entre la ramificación y la boca.

a) Caso No-Estacionario.

Para un estuario, si se asume que el fluido es incompresible, la ecuación de continuidad en la frontera de cada segmento I, con excepción de aquel donde ocurre la ramificación (I=NB) y el primer segmento del brazo secundario (I=NB1 + 2) que consideraremos más adelante, adquiere la forma:

$$\frac{\partial(SV(I))}{\partial t} = Q(I-1,I) - Q(I,I-1) - SQE(I)$$
(5)

y si se desprecian los efectos de difusión molecular y se considera únicamente flujo advectivo, la ecuación que representa el balance de sal desde el segmento I hasta la cabeza puede escribirse:

$$\frac{\partial(SS(I))}{\partial t} = Q(I-1,I) \times S(I-1) - Q(I,I-1) \times S(I)$$
(6)

Con estas dos últimas ecuaciones se acepta que en cada lindero entre dos segmentos se dan simultáneamente un flujo desde el segmento I [Q(I,I-1)] y hacia el segmento I desde el inmediato anterior [Q(I-1,I)] implicando con ello considerar la existencia de difusión turbulenta en el transporte, pero se evita de este modo tener que evaluar un coeficiente de difusión.

Resolviendo simultáneamente las ecuaciones (5) y (6) para Q(I-1,I) y Q(I,I-1):

$$C(I-1,I) = \frac{S(I) \times \{SQE(I) + \partial(SV(I))/\partial t\} - \partial(SS(I))/\partial t}{\{S(I) - S(I-1)\}}$$
(7)

$$Q(I, I-1) = Q(I-1, I) - SQE(I) - \partial(SV(I))/\partial t$$
 (S)

que representan el intercambio de flujos a través de la socción transversal en la frontera entre los segmentos I e I-1. Similarmente, se puede mostrar que:

$\mathbb{Q}(I+1,I) = \mathbb{S}(I) \times \{\mathbb{SQE}(I+1) + \partial(\mathbb{SV}(I+1)/\partial t\} - \partial(\mathbb{SS}(I+1))/\partial t \\ \mathbb{S}(I+1) - \mathbb{S}(I) \}$ (9)

y consecuentemente:

$$Q(I, I+1) = Q(I+1, I) + SQE(I+1) + \partial(SV(I+1))/\partial t$$
 (10)

También, en el limite entre los segmentos MD y ND1+2

$$Q(NE, NB1+2) = S(HE1+2) \times \{SCE(RB1+2) + \partial SV(HE1+2) / \partial t \} - \partial SS(RB1+2) / \partial t$$

S(RE1+2) - S(RE) (11)

y

$Q(NB1+2, NB) = \underline{S(NB) \times \{SQE(NB1+2) + \partial SV(NB1+2) / \partial t\}} - \partial SS(NB1+2) / \partial t}$ $S(NB1+2) - S(NB) \qquad (12)$

Ahora bien, designando, para facilidad de notación, en términos de la figura anterior, el flujo neto hacia y desde cada uno de los segmentos:

- QIL(I)...Flujo hacia el I-ésimo segmento, desde el segmento inmediato anterior (en dirección a la boca) de este segmento I.
- QIUR(I)..Flujo hacia el I-èsimo segmento, desde el segmento adyacente (en dirección a la cabeza) de dicho segmento.
- QO(I)....Flujo dirigido desde el segmento I hacia los segmentos adyacentes (en dirección a la cabeza o a la boca) a este segmento.

Luego entonces, las expresiones anteriores (7)-(12) que representan los intercambios de flujo entre los diferentes segmentos, usando la notación anteriormente descrita, quedarán:

$$QIL(I) = S(I) \times \{SQE(I) + \partial SV(I)/\partial t\} - \partial SS(I)/\partial t$$
(13)
$$S(I) - S(I-1)$$

$$QIUP(I) = S(I) \times \{SQE(I+1) + \partial SV(I+1) / \partial t\} - \partial SS(I+1) / \partial t$$
(14)
$$S(I+1) - S(I)$$

para todos los segmentos del estuario excepto aquel donde ocurre la ramificación y el primer segmento del brazo secundario. Para aquel, usando además de la notación anterior, la siguiente:

> QIUR(NB).. Flujo hacia el segmento NB desde el siguiente en dirección a la cabeza (desde el NB+1).

QIRB.....Flujo hacia el segmento NB desde el primer segmento de la ramificación, es decir el segmento NB1 + 2.

se tendra:

- $QIL(NB) = \frac{S(NB) \times \{SQE(NB) + \partial SV(NB)/\partial t\}}{S(NB) S(NB-1)}$ (16)
- $QIUR(NB) = S(NB) \times \{SQE(NB+1) + \partial SV(NB+1) / \partial t\} \partial SS(NB+1) / \partial t$ S(NB+1) - S(NB) (17)
- $QIRE = \frac{S(NE) \times \{SQE(NB1+2) + \partial SV(NB1+2) / \partial t\} \partial SS(NB1+2) / \partial t}{S(NB1+2) S(NB)}$ (18)

y además:

У

QO(NB) = QIL(NB+1) + QIUR(NB-1) + QIL(NB1+2)

y finalmente para el segmento I=NB1+2:

 $QIL(NB1+2) = \frac{S(NB1+2) \times \{SQE(NB1+2) + \partial SV(NB1+2) / \partial t\} - \partial SS(NB1+2) / \partial t}{S(NB1+2) - S(NB)}$ (20)

 $QIUE(NB1+2) = \frac{S(NB1+2)x \{SQE(NB1+3)+\partial SV(NB1+3)/\partial t\} - \partial SS(NB1+3)/\partial t}{S(NB1+3)} - \frac{S(NB1+2)}{(21)}$

QO(NB1+2) = QIL(NB1+3) + QIRB

Considerando ahora las variaciones temporales en la concentración media seccional de un contaminante introducido en el segmento I=L como una fuente instantánea de masa CM(L) al tiempo T=T°; las concentraciones medias al tiempo T=T° estarán dadas por:

 $\xi(I, T^{\circ}) = CM(I) \qquad CM(I) = 0 \qquad \text{para } I \neq L$ (23)

La variación en el tiempo de la concentración de contaminante para el caso general de un estero se puede expresar, para cualquier segmento I, como:

| Variación temporal de | Cantidad de cte. | Cantidad de cte. |
|-------------------------|-----------------------|-------------------|
| la masa de contaminante | =introducido a través | introducido a - |
| en el segmento I | de la frontera más | través de la |
| | cercana a la boca, | frontera interior |
| | del segmento I | |

15

(19)

(22)

Cte. que sale del segmento I hacia los dos segmentos adyacentes.

y que para el caso particular de un estero ramificado, para todos los segmentos (con excepción de aquel en donde ocurre la ramificación y el primer segmento en el brazo secundario) adquiere la forma:

 $\frac{\partial \{V(I,J) \times \xi(I,J)\}}{\partial t} = QIL(I,J) \times \xi(I-1,J) + QIUR(I,J) \times \xi(I+1,J) - \frac{\partial UR(I,J)}{\partial t} = QIL(I,J) \times \xi(I-1,J) + QIUR(I,J) \times \xi(I+1,J) - \frac{\partial UR(I,J)}{\partial t} = QIL(I,J) \times \xi(I-1,J) + QIUR(I,J) \times \xi(I+1,J) - \frac{\partial UR(I,J)}{\partial t} = QIL(I,J) \times \xi(I-1,J) + QIUR(I,J) \times \xi(I+1,J) - \frac{\partial UR(I,J)}{\partial t} = QIL(I,J) \times \xi(I-1,J) + QIUR(I,J) \times \xi(I+1,J) - \frac{\partial UR(I,J)}{\partial t} = QIL(I,J) \times \xi(I-1,J) + QIUR(I,J) \times \xi(I+1,J) - \frac{\partial UR(I,J)}{\partial t} = QIL(I,J) \times \xi(I-1,J) + QIUR(I,J) \times \xi(I+1,J) - \frac{\partial UR(I,J)}{\partial t} = QIL(I,J) \times \xi(I-1,J) + QIUR(I,J) \times \xi(I+1,J) - \frac{\partial UR(I,J)}{\partial t} = QIL(I,J) \times \xi(I-1,J) + QIUR(I,J) \times \xi(I+1,J) - \frac{\partial UR(I,J)}{\partial t} = QIL(I,J) \times \xi(I-1,J) + QIUR(I,J) \times \xi(I+1,J) - \frac{\partial UR(I,J)}{\partial t} = QIL(I,J) \times \xi(I-1,J) + QIUR(I,J) \times \xi(I+1,J) + QIUR(I,J) + QIUR(I,J) \times \xi(I+1,J) + QIUR(I,J) + QIUR($

$$-QO(I,J) \times \xi(I,J)$$
 (24)

En tanto que para los dos segmentos faltantes se tendrá:

 $\frac{\partial \{V(NB,J) \times \xi(NB,J)\}}{\partial t} = QIL(NB,J) \times \xi(NB-1,J) + QIUR(NB,J) \times \xi(NB+1,J) + OIUR(NB,J) \times \xi(NB+1,J) + OIUR(NB+1,J) + OIUR(NB+$

 $+QIRB(J) \times \xi(NB1+2,J) - QO(NB,J) \times \xi(NB,J)$ (25)

 $\frac{\partial \{V(NB1+2, J) \times \xi(NB1+2, J)\}}{\partial t} = QIL(NB1+2, J) \times \xi(NB, J) + QIUR(NB1+2, J) \times \frac{\partial U}{\partial t}$

у

 $x\xi(NB1+3,J)-QO(NB1+2,J)x\xi(NB1+2,J)$ (26)

que expresan el balance de contaminante en dichos segmentos.

b) Caso Estacionario.

Si se hace caso omiso de la variabilidad temporal de los diferentes parámetros que intervienen en las expresiones (13) a (26) (salvo la evolución temporal de la concentración), se tendrá:

$$QIL(I) = \underbrace{S(I) \times SQE(I)}_{S(I) - S(I-1)}$$
(27)

$$QIUR(I) = S(I) \times SQE(I+1)$$

$$S(I+1) - S(I)$$
(28)

en sustitución de las ecuaciones (13),(16) y (14),(17) respectivamente. También, para el segmento donde ocurre la ramificación (NB) (ecuación (18)), queda:

$$QIRB = S(NB) \times SQE(NB1+2)$$
(29)
S(NB1+2) - S(NB)

En tanto que para el primer segmento del brazo secundario (NB1+2) (ecuaciones (20) y (21)) tenemos:

$$QIL(NB1+2) = S(NB1+2) \times SQE(NB1+2)$$

$$S(NB1+2) - S(NB)$$
(30)

$$QIUR(NB1+2) = S(NB1+2) \times SQE(NB1+3)$$

$$S(NB1+3) - S(NB1+2)$$
(31)

quedando las expresiones (15),(19) y (22) inalteradas:

$$QO(I) = QIL(I+1) + QIUR(I-1)$$

QO(NB) = QIL(NB+1) + QIUR(NB-1) + QIL(NB1+2)

$$QO(NB1+2) = QIL(NB1+3) + QIRB$$

Además, la expresión de la variación de la concentración de contaminante (ecuación (24)) quedará:

$$\frac{\partial \xi(\mathbf{I}, \mathbf{J})}{\partial t} = \{ QIL(\mathbf{I}, \mathbf{J}) \times \xi(\mathbf{I}-1, \mathbf{J}) + QIUR(\mathbf{I}, \mathbf{J}) \times \xi(\mathbf{I}+1, \mathbf{J}) - \frac{\partial \xi(\mathbf{I}, \mathbf{J})}{\partial t} \}$$

$$- QO(I,J) \times \xi(I,J) / V(I)$$
 (32)

considerando que

у

$$\frac{\partial \{V(I,J) \times \xi(I,J)\}}{\partial t} = V(I,J) \times \frac{\partial \xi(I,J)}{\partial t} + \xi(I,J) \times \frac{\partial V(I,J)}{\partial t}$$

y para un caso estacionario, ni el volumen ni las descargas dependen del tiempo:

$$\frac{\partial V(I,J)}{\partial t} = 0 \qquad V(I,J) = V(I)$$

entonces

$$\frac{\partial \{V(I,J) \times \xi(I,J)\}}{\partial t} = V(I) \times \frac{\partial \xi(I,J)}{\partial t}$$

tambien, para los dos segmentos especiales NB y NB1+2:

 $\frac{\partial \xi(NB,J)}{\partial t} = \{QIL(NB) \times \xi(NB-1) + QIUR(NB) \times \xi(NB+1) + \frac{\partial \xi}{\partial t}\}$

+ QIRB x ξ (NB1+2) - QO(NB) x ξ (NB)}/V(NB) (33)

 $\frac{\partial \xi (\text{NB1}+2)}{\partial t} = \{ \text{QIL}(\text{NB1}+2) \times \xi (\text{NB}) + \text{QIUR}(\text{NB1}+2) \times \xi (\text{NB1}+3) - \frac{\partial \xi}{\partial t} \}$

$$- QO(NB1+2) \times \xi(NB1+2) / V(NB1+2)$$
(34)

II.2. Condiciones de frontera.

Las condiciones físicas imponen ciertas restricciones que es necesario considerar. Para este modelo, las condiciones cinemáticas de borde, requieren que entre los seudosegmentos terrestres y sus segmentos adyacentes no haya intercambio de flujo ni contaminante. La primera condición se cumple haciendo:

QIUR(NE1,T)=0.0 QIUR(N-1,T)=0.0 QIL(NE1+1,T)=0.0 QIL(N,T)=0.0 para toda T. en tanto que la segunda se satisface si se considera que el l'imite entre los segmentos mencionados actúa como una barrera totalmente reflejante, es decir:

 ξ (NB1+1,T)= ξ (NB1,T)

 $\xi(N,T)=\xi(N-1,T)$ para toda T.

En la frontera oceánica, se asume que la concentración en el primer segmento esta relacionada a la concentración en el primer segmento interior por un coeficiente de reflexión parcial, de tal modo que:

 $\xi(1,T)=R \ge \xi(2,T)$ para toda T.

en que este coeficiente de reflexión (R) debe ajustarse posteriormente en la etapa de calibración del modelo, de acuerdo a valores observados en casos semejantes.

II.3. Solución Numérica.

Para la solución numérica en computadora de las ecuaciones diferenciales derivadas en los incisos anteriores, se hace necesario pasar del esquema contínuo del modelo teórico a un esquema discreto; es decir transformarlas en un conjunto de

ecuaciones algebráicas cuya solución requiera solamente de operaciones aritméticas. Esto se logra, en general, por sustitución de las derivadas en la ecuación diferencial por formulas algebráicas que den una aproximación a aquellas; ésta técnica se conoce como 'diferencias finitas'. También es posible tratar de integrar la ecuación diferencial en forma aproximada, mediante la técnica de 'elementos finitos'. E1 esquema así obtenido en ambos casos se aplica repetidamente en todos los puntos donde se desconoce la solución, y para todos los intervalos de tiempo deseados, llegando así a una solución aproximada del problema.

De las diversas técnicas de integración numérica existentes, el algoritmo de Gear (1971) que utiliza el método de Adams de orden variable, ha sido utilizado en este trabajo, por ser una de las más eficientes en la solución numérica de ecuaciones diferenciales (Hull et al., 1972).

Este algoritmo aprovecha las ventajas que proporciona uno de los métodos de paso múltiple (que requieren conocer el valor de la función para varios puntos anteriores al de consideración) como son las fórmulas de Adams, mejorándolas al ajustar tanto el orden como el tamaño del intervalo o paso para producir el nivel deseado del error local por truncamiento y al permitir que el proceso de integración se inicie por sí mismo.

Las formulas de Adams (tanto Adams-Bashforth como Adams-Moulton) se basan en una expansión en serie de Taylor alrededor de algun valor arbitrario de 1 a variable. independiente, en la cual se sustituyen 1 a s derivadas resultantes por diferencias hacia atras, con lo cual se obtiene un esquema que permite determinar el valor buscado de la función, apoyándose en valores anteriores (un buen resumen de este método se puede ver en Hull et al., op. cit., por ejemplo).

Se empleo esta técnica, después de intentar usar el método de Euler y el método explicito del punto medio o método de dos mejor conocido como leap-frog que finalmente pasos se desecharon por problemas de convergencia y estabilidad. Este es un punto crítico e importante en relación a los métodos numéricos para resolver ecuaciones diferenciales. Un método es estable, si obviando un poco los errores de redondeo, la solución calculada es una buena aproximación a la solución exacta a medida que el intervalo de integración se hace suficientemente pequeño (Hornbeck, op. cit.). Se puede en casi todas las situaciones distinguir entre una solución inestable de una estable, debido al crecimiento exponencial del error en una solución inestable. En una cuestión práctica, no es conveniente llevar a cabo análisis teóricos de estabilidad que son largos y engorrosos, sino más bien se debe escoger un método adecuado, que no presente problemas de estabilidad. Si

entonces se encuentra inestabilidad al aplicarlo, es preferible tratar el mismo problema con un intervalo más pequeño con la esperanza de salvar ésta inestabilidad; si aún así el problema persiste, la alternativa como en este caso es cambiar a un método diferente. Cuando el método es estable para un problema dado, se pueden reducir los errores locales al tomar un intervalo de integración lo suficientemente pequeño como para no encarecer la solución al aumentar el número de veces que se evalúa la función y consecuentemente el tiempo de computación.

Para la evaluación e integración de las expresiones desarrolladas en los incisos anteriores, se confeccionaron dos programas de computo que corresponden a cada una de las etapas del modelo. En una primera parte se calculan los gastos de intercambio entre segmentos, utilizando como datos los valores promedio de áreas, volúmenes, salinidades diarios V evaporaciones lineales para cada segmento y para cada día. Estos gastos son ajustados a un polinomio para poder generar, en caso necesario los valores correspondientes a dias no incluidos en el periodo de medición. En la segunda parte se utilizan los coeficientes de este ajuste para calcular, para el desean determinar las diferentes periodo que se concentraciones, los gastos correspondientes y haciendo uso de las expresiones (21)-(27) determinar dichas concentraciones.

Para el ajuste de los gastos se usó aproximación polinomial, que tiende a suavizar o filtrar los datos eliminando las variaciones debidas al proceso de obtención; ya que la información sobre la función real que está contenida en estos datos es retenida. Con ello se consigue mantener más estable el sistema, sin perder la parte importante de él. Para ello se elaboraron tres subprogramas sencillos: el primero de ellos forma la matriz del sistema de ecuaciones normalizadas, el segundo utiliza parte de la información generada en el primer subprograma para formar la matriz de coeficientes del sistema y el tercer subprograma resuelve el sistema de ecuaciones normalizadas. Una curva de ajuste típica y los datos ajustados se pueden observar en la figura 2 . La efectividad de cualquier tipo de ajuste depende de 1 a variabilidad de los puntos a ajustar, y es posible tener una idea de ello si se revisan los residuos; así mientras más pequeños sean estos, más efectivo es el ajuste. En este caso el polinomio que minimiz b los residuos fué de quinto orden.





2.5

III. APLICACION A BAHIA DE SAN QUINTIN.

III.1. Generalidades.

En este capítulo se presentan los resultados que se obtuvieron después de aplicar este modelo a Bahia de San Quintín que por sus condiciones físicas se mostro idóneo para probar el funcionamiento de este modelo. Se simulo 1 a inyección de un contaminante en uno de los segmentos en que se dividib este cuerpo de agua y las concentraciones predichas se compararon con las observadas. Para la aplicación que aquí se hace se utilizaron los datos generados en el verano de 1977 por la sección de Lagunas Costeras del CICESE dentro del proyecto Hidrodinámica de Lagunas Costeras del Noroeste de México: intensidad de viento, humedad relativa y temperatura del aire, salinidad y temperatura del agua. Para la comparación con los resultados del modelo, se usaron las concentraciones de tinta fluorescente para diferentes posiciones dentro del estero, obtenidas en la misma campaña de mediciones ya indicada. Los objetivos del proyecto mencionado, la metodología para 1 a colecta de datos y el procesado inicial de ellos se ha
discutido anteriormente en diferentes publicaciones (véase por ejemplo Pritchard, 1977) por lo que, exceptuando algunas líneas sobre el experimento de tinta, no se comentará más aquí.

III.2. Descripción del Area de Estudio y Antecedentes.

Bahia de San Quintín se localiza a poco más de doscientos kilòmetros al sur de Ensenada sobre la costa occidental de la Península de Baja California. Esta comunicada con el Océano adyacente a través de una boca relativamente estrecha (poco más de un kilómetro) aunque profunda (dieciséis metros a Nivel Medio del Mar (N.M.M.), como máxima); se compone de dos ramas de características un tanto distintas: el brazo izquierdo (conocido como Bahia Falsa) tiene una longitud aproximada de siete kilometros, presenta un ancho superficial considerable (dos kilómetros en promedio) aunque la zona es muy somera; el canal principal está cargado hacia la margen derecha y tiene una profundidad máxima de siete metros a N.M.M. (figura 3). La otra rama (conocida como Bahia San Quintin) es más extensa y menos somera que la anterior, su longitud es de aproximadamente once kilometros, presenta un ancho superficial variable y tiene una profundidad máxima de trece metros a N.M.M.

El area total cubierta por la Bahia hasta el nivel medio del mar es de aproximadamente cuarenta y un kilómetros



Figura 3.- Mapa de la región de Bahía de San Quintín.

cuadrados, correspondiendo cerca del sesenta por ciento a la rema de San Quintin.

El clima sobre la zona es el mismo que el de toda la parte Norte de la península: semi-árido con lluvias escasas en invierno (promedio anual de 5-10 cm. según Gorsline y Stewart, 1962). Carece de aportes significativos de agua dulce ya que ningán río desemboca en ella.

Los vientos dominantes son del Noroeste con variación diurna y semidiurna. De los datos obtenidos en verano y trabajados por Del Valle (1979) se desprende que el régimen predominante es del tipo de brisa marina, con poca ingerencia en la circulación de la Bahía. La intensidad máxima registrada para esa época fué de 35 Km/hr.

Debido a lo somero de algunas zonas, estas se encuentran sujetas a un intenso calentamiento que crea gradientes de temperatura causantes aparentemente de cambios en la densidad y corrientes.

Muestreos efectuados en diferentes épocas del año indican que la salinidad aumenta desde la boca hacia el interior; los incrementos más grandes ocurren en Bahia San Quintin, en donde se han encontrado hasta 2 ppm. de diferencia en el verano, comparados con 0.8 en Bahia Falsa, siendo la evaporacion la única fuente de variaciones de salinidad en la cuenca (Plascencia, 1980).

La temperatura sigue el mismo patrón que la salinidad en todo el año (los valores se incrementan desde la Boca hacia las Cabezas, habiendo una variación máxima de hasta 8.6°C) con excepción del invierno en que hay una inversión y los valores más altos se encuentran en la Boca. Es también en la boca donde tiene lugar una mayor variación diaria en la temperatura (para el otoño por ejemplo se han encontrado hasta 1.3°C en tanto que para el verano se encontró una variación de cerca de 6°C, (Alvarez et al., 1977).

Esta variabilidad de salinidades y temperaturas es la que controla los gradientes horizontales medios de densidad. Aún cuando la temperatura y salinidad aumentan hacia el interior, la densidad disminuye, en la mayoría de los casos, en verano, tendiendo con ello las aguas cerca de la cabeza a fluir hacia afuera por la superficie. Lo anterior también indica que bajo esas condiciones estacionales, las variaciones de temperatura, y no las variaciones de salinidad, son las que gobiernan los gradientes horizontales de densidad (Plascencia, op. cit.).

El factor más importante en la hidrodinámica de la Bahia es la marea astronómica (Monreal, 1980). Este fenómeno es del tipo semidiurno, no estacionario para este cuerpo de agua.

Debido a fricción en el fondo principalmente, la onda de marea sufre un retardo en su propagación hacia el interior, siendo los retardos máximos para ambos brazos de cerca de cincuenta minutos (Ocampo, 1980). Las corrientes máximas generadas por marea (las más importantes aquí) en la boca son de cerca de l m/seg. El esfuerzo del viento no afecta mucho la hidrodinámica de la Bahía, su mayor efecto se deja sentir cerca de la cabeza de Bahía de San Quintín (Del Valle y Cabrera, 1981).

De entre los modelos utilizados para el estudio de esta Bahía, podemos mencionar la aplicación del modelo unidimensional de Harleman y Lee (1969) hecha por Del Valle (op. cit.), para estudiar la circulación y analizar los procesos hidrodinámicos que tienen lugar aquí; la utilización de un modelo, unidimensional también aunque analítico, por parte de Ocampo (op. cit.) en 1980 para analizar las condiciones de la onda de marea y predecir la velocidad de las corrientes por ella generada y, la aplicación del modelo analítico de Carter (1967) hecha por Monreal (op. cit.) para estudiar la dispersión en esta Bahía con aplicaciones al asesoramiento en el cultivo de ostiones.

El modelo usado por Del Valle esta basado en ecuaciones de conservación de masa y momentum y toma en cuenta entre otras cosas los esfuerzos de fricción en la superficie causados por

viento y en el fondo del canal y desde luego información sobre la onda de marea. Los resultados que obtiene son en genera buenos considerando las limitaciones propias de este modelo. Monreal, en base a observaciones de campo, considera que la variación de la concentración de larvas de ostión en los diferentes segmentos en que se dividió la Bahía es exponencial decreciente y ajusta curvas de este tipo a datos de campo para poder utilizar el modelo de Carter.

III.3. Dispersión en San Quintín.

Con el objeto de estudiar la dispersión en esta Bahia, se hicieron dos experimentos con tinta fluorescente, dentro de la misma campaña de mediciones de 1977. El 5 de julio se introdujeron 3.4 Kg. en peso seco (disuelta al 20%), de Rodamina WT en un punto cercano a la cabeza de Bahia Falsa, monitoriándose en 105 dias subsiguientes, hasta que 1 a concentración de la tinta bajó a un nivel no detectable por el instrumento (el 12 de julio), aún cuando no se encontraron valores significativos desde el dia 11. En Bahla San Quintin propiamente, se inyecto 3.1 Kg. en peso seco de tinta el 12 de julio en la parte más interna de la Bahia; aquí las mediciones se suspendieron dos días después, ya que hubo un rápido evacuado del trazador.

La inyección de la tinta fluorescente se efectuó en los dos sitios desde embarcaciones ancladas en el lugar, siguiendo procedimientos típicos, es decir:

La tinta es mezclada previamente con agua del sitio de invección en un tambo grande (de 80 unos litros aproximadamente), con el propósito de asegurar que la solución tenga la misma densidad que la masa de agua que se quiere rastrear. Una vez hecho esto, o bien simplemente se voltea dicha mezcla por la borda de la embarcación cuando el sitio no es muy profundo, o bien en caso contrario se procede a bombearla por un tubo que haya sido introducido verticalmente y que tenga varias perforaciones a lo largo, haciendo con ello que la tinta salga a diferentes profundidades y que en forma mås råpida se tenga uniformidad en la inyección y homogeneidad en toda la columna de agua, evitándo así que la introducción sea meramente superficial. Se procura hacer la inyección en un estado de marea tal que se evite que la tinta sea sacada del estero (laguna o bahia según el caso), por lo que generalmente se hace después de una bajamar. En este caso se uso la primera técnica descrita ya que la profundidad media fhe de 3.00 metros para los dos lugares.

La medición de la fluorescencia se hizo con un sistema fluorimétrico adaptado a una embarcación con la cual se recorría la bahía. Este sistema, formado por un fluorimetro Turner modelo 111, un graficador y una pequeña bomba que inyectaba el agua de la bahía al aparato, permitió tener registros contínuos con la distancia y en el tiempo. Durante varios dias, después de la inyección, se recorrían en esta embarcación las diferentes estaciones ubicadas en la bahía midiéndose la fluorescencia del agua superficial a todo la largo de ella y en ocaciones haciéndose muestreos verticales y transversales para checar la homogeneidad de la distribución. La forma de procesar los datos obtenidos se describe muy bien en De la Paz (1978) quien aplicó un modelo similar al estero de Punta Banda.

Además de los datos generados en estos dos experimentos con tinta fluorescente, se utilizaron para la verificación del funcionamiento del modelo, los valores promedio diarios de áreas, volúmenes, salinidades y evaporaciones lineales para cada segmento y para cada dia. Para esto último hubo necesidad de complementar los registros disponibles ya que por diversos motivos (ausencia de medición, poca confiabilidad en los datos, etc.) se carecía de la información necesaria en intervalos intermedios. Para ello se utilizó interpolación spline (Forsythe et al., 1977) y en algunos casos interpolación lineal.

La información de áreas y volúmenes se obtuvo del mapa batimétrico de la Secretaria de Marina (1970), calculándose para las alturas de marea registradas en los mareógrafos en los

instantes de tiempo correspondientes. Las salinidades se midieron en posiciones, instântes de tiempo y profundidades discretas, interpolândose también los valores usados.

Se simuló la inyección de tinta en los dos segmentos y para los dos periodos mencionados. En un primer caso se excitó el sistema a través del segmento 6 (figura 4). Las distribuciones de tinta obtenidas para cada segmento se pueden observar en las figuras 5 y 6 para el caso no estacionario y en las 7 y 8 para el estacionario. Los valores calculados por el modelo (línea contínua) se asemejan más razonablemente a los valores medios diarios medidos, para los segmentos más cercanos al punto de inyección (4,5 y 7) que para los más alejados dentro de la misma rama. No se muestran para este primer caso de inyección, los valores medidos para los segmentos y su magnitud fué cercana al umbral mínimo del instrumento.

En estas figuras se pueden apreciar también junto con los valores medios diarios, las barras de error por precisión del aparato de medición, correspondientes a cada segmento. No se muestran aqui las barras resultantes del análisis estadístico ya que en todos los casos fueron de valor menor o igual a las antes mencionadas.

La distribución calculada para cada caso (estacionario-no



Figura 4.- Segmentación de Bahía de San Quintín.



Figura 5.-Comparación entre los valores obscrvados 105 У calculados por el modelo no estacionario, para: a) segnento 5, b) 6 segmento 3c) segnento 7. (Inyección en 6).



Figura 6.-

Comparación entre los valores observados y calculados por el modelo no estacionario, para: a) segmento 2, b) segmento 3 y c) segmento 4. (inyección en 6).

3.0



Figura 7.- Comparación entre los valores observados y los calculados por el modelo estacionario, para: a) segmento 5, b) segmento 6 y c) segmento 7. (Inyección en 6).



Figura S.- Comparación entre los valores observados y los calculados por el modelo estacionario, para: a) segmento 2, b) segmento 3 y c) segmento 4. (Inyección en 6).

estacionario) es muy semejante, sin embargo haciendo un análisis de los residuos (usando el criterio de cuadrados minimos) para cada caso, se determina que se obtiene un mejor ajuste a los valores medidos con el caso no-estacionario. La diferencia entre los valores promedio de los residuos para los 6 segmentos comparados es de cerca del 17% entre un caso y otro.

Para el segmento de inyección se calculb un residuo de 0.0532, en tanto que para el primer segmento (no-oceánico) se obtuvo un residuo de 0.1285. Es conveniente aclarar aquí que la precisión con la que se obtuvieron los datos fué de +- 0.05 partes por billón (ppb).

El decrecimiento de la concentración de trazador para todos los casos es semejante a una exponencial con una curva más cerrada para el segmento de inyección, lo cual indica un decaimiento relativamente rápido en comparación al resto de los segmentos. Esto se debe a que la concentración inicial es proporcionalmente muy alta en este segmento respecto a los demás.

Para mostrar mejor las diferencias entre los resultados del caso estacionario y del no estacionario se elaboraron un par más de figuras. En la figura 9 se muestran las concentraciones para cada segmento referidas al valor inicial.



Figura 9.- Resultados del modelo estacionario y del no estacionario con inyección en el segmento 6: a) segmentos 2,4 y 6 y b) segmentos 3,5 y 7.

De las curvas presentadas, se observa que la mayor similitud se encuentra en los segmentos 2,3 y 5, apreciándose una diferencia mayor entre los resultados del estacionario y y 7. de1 no estacionario para los segmentos 4,6 Esta diferencia (de hasta un 12%) es sobre todo en fase de 1 a decaimiento, después de 48 horas de inyectado el trazador. E1 hecho de que los ultimos segmentos mencionados pertenezcan a Bahia Falsa nos indica que el considerar las variaciones temporales de los diferentes parametros que intervienen e 1 en modelo (salinidad, evaporación, etc.), pesan 1 a más sobre dispersión en zonas someras de la Bahía como es esta rama (Bahia Falsa).

La figura 10 muestra los mismos valores mostrados anteriormente, agrupados según cada caso. Aquí se hace más patente una separación entre los valores correspondientes a los segmentos 4 (primer segmento de esta rama) y 3 (segmento donde ocurre la ramificación) indicando con ello que una parte (muy pequeña desde luego) de la tinta inyectada 1 a cabeza en en Bahia Falsa es transportada hacia Bahia San Quintin, y que la evacuación en la zona cercana a la boca, debido a la descarga de ambas Bahlas, es muy rápida e incluso impide una Concentración máxima de valor muy alto.

Continuando el trabajo con el modelo no estacionario y con



d modelo estacionario, b) modelo no estacionario tinta. Variación temporal de concentración de Figura 10.-

4.4

inyección en el mismo segmento (6) se determinaron las concentraciones relativas (referidas a la máxima concentración todos los calculada para cada segmento) para dlas subsiguientes, hasta sesenta dias después de la inyección para cada uno de los segmentos. Los valores obtenidos para los primeros treinta dias se muestran en la figura 11. Para el segmento de inyección, la concentración decae rápidamente, no encontrándose valores significativos después del dia 12. Los tiempos de ocurrencia de los máximos se encuentran en la Tabla I: en ella se observa que la máxima concentración para Bahía Falsa tiene lugar en los primeros dias después de la inyección, en tanto que para la cabeza de Bahia San Quintin este máximo tiene lugar hasta el dia 11. En esta misma figura se pueden observar los tiempos de residencia, tema a tratarse más adelante.

También, y aún cuando se tienen muy pocos valores observados, lo que imposibilita la comparación con los resultados del modelo, se simulo la inyección de tinta para los segmentos de la cabeza de Bahía San Quintín que corresponderían al periodo del segundo experimento (efectuado el 12 de julio). Algunos de los valores calculados se muestran en las figuras 12 y 13. Después del segundo dia posterior a la inyección se obtuvieron valores menores al 30% del valor de la concentración inicial, sin embargo aún se encuentran valores del 10% alrededor del dia 10 después de inyección, para todos los



relativa para en segmentos de la Bahla, con inyección segmento) concentración (Modelo no estacionario). e 1 еn a la måxima de temporal segmento 6. Variación diferentes (referida Figura 11.-

1.6

Tiempos de Ocurrencia de Máximos en la Bahía. (Según Modelo No-estacionario).

TABLA I.

Segmento de Inyección: é.

| Segmento | Tiempo(dias) | |
|----------|--------------|--|
| 2 | 2. 1 | |
| 3. | 2.0 | |
| 4 | 1.1 | |
| 5 | 0. 6 | |
| 6 | 0.0 | |
| 7 | 1.0 | |
| ę | 2.8 | |
| iO | 9. é | |
| 11 | 4.5 | |
| 12 | 5.4 | |
| 13 | ۵.4 | |
| 14 | 7.9 | |
| 15 | 9.3 | |
| 16 | 10.5 | |
| 17 | 11.3 | |



Figura 12.- Resultados del modelo al aplicarlo al segundo periodo. a) segmento 15, b) segmento 16 y c) segmento 17. (Inyección en cabeza de Bahia San Quintin).

40

Ч. л. н.



Figura 13.- Resultados del modelo al aplicarlo al segundo periodo. a) segmento 12, b) segmento 13 y c) segmento 14. (Inyección en cabeza de Bahia San Quintín).

segmentos. Los segmentos con concentraciones más bajas fueron aquel situado en la cabeza (17) y los cercanos a la boca (9-11). El comportamiento del segmento (17) es explicable porque el intercambio es aparentemente escaso con el resto del sistema debido a la constricción producida por un dique artificial que cierra parcialmente su acceso frente al Molino Viejo. Este fenómeno influye también en la propagación de la onda de marea, como lo evidenció Ocampo (1980). El comportamiento de los segmentos (9)-(11) es explicable por su cercanía a la boca.

Los valores que se midieron muestran un decaimiento mucho más rápido que en el caso de inyección en Bahía Falsa, posiblemente porque esta inyección se efectivo en un periodo de mareas vivas, a diferencia de la ultima mencionada (B. Falsa) en que la inyección se efectivo en dias de mareas medias a muertas.

También, y con el objeto de estudiar la dispersión bajo situaciones similares en toda la Bahía, se trabajó el modelo varias veces para las mismas condiciones hidrodinámicas imperantes en el primer periodo de mediciones, considerando cada vez un segmento de inyección distinto.

Para inyección en los segmentos cercanos a la boca, el tiempo de permanencia de la tinta para todo el estero siempre

fué menor que para inyección en el resto de los segmentos, lo que era de esperarse, indicando que el coeficiente de reflexión boca-oceáno es pequeño (poca tinta que salió vuelve a ingresar) aún en mareas medias o muertas. El periodo de ocurrencia de las concentraciones máximas en cada segmento no excedió los 8 dias para inyección en los segmentos 2,3,4,9,10,11,12 y 13 (figuras 11 y 14-18), en tanto que para inyección en las cabezas (segmentos 5-7 y 15-17) estos máximos ocurren en los primeros doce dias después de la inyección. Es de notar que para inyección en la cabeza de Bahía San Quintín (segmentos 13,15,17) las curvas que muestran más retardo en acumular y evacuar el trazador son las de los segmentos 5,6 y 7 (cabeza de Bahla Falsa); y viceversa, para inyección en 5,6,7, 1 a dispersión fué más lenta en 13, 15 y 17. Esto indica la poca comunicación dinámica entre las cabezas de ambas Bahias. Aún chando en este ensayo del modelo se trabajb con condiciones de marea media a muerta, un resultado similar se obtiene bajo las condiciones del segundo experimento (marea viva), difiriendo solamente en la cantidad de dias del proceso, que es menor.

Las curvas de concentración relativa vs. tiempo son más asimétricas para segmentos más cercanos al segmento de inyección y en general más simétricas para los segmentos extremos (cabezas). Todas las curvas aparecen con un sesgo hacia la derecha indicando con ello que la salida de la tinta es más lenta que la entrada a cada segmento.



Figura 14.- Variación temporal de concentración relativa (referida a la máxima en el segmento) para diferentes segmentos de la Bahía, con inyección en: a) segmento 2, b) segmento 3.



Figura 15.- Variación temporal de concentración relativa (referida a la máxima en el segmento) para diferentes segmentos de la Bahía, con inyección en: a) segmento 5, b) segmento 7.



Figura 16.- Variación temporal de concentración relativa (referida a la máxima en el segmento) para diferentes segmentos de la Bahía, con inyección en: a) segmento 9, b) segmento 11.



Figura 17.- Variación temporal de concentración relativa (referida a la máxima en el segmento) para diferentes segmentos de la Bahia, con inyección en: a) segmento 13, b) segmento 15.



Figura 18.- Variación temporal de concentración relativa para diferentes segmentos de la Bahía, con inyección en segmento 17.

El fenómeno de poca intercomunicación entre ambas cabezas de bahías se observa más claramente en las gráficas de concentración absoluta (figura 10) en que las curvas para los segmentos 13 al 17 son casi nulas cuando la inyección es en segmento 6.

Para inyección en el segmento 2 una buena parte de 1 a tinta es llevada hacia el exterior en las primeras 24 horas, sin embargo una pequeña parte es introducida al interior del estero, alcanzando más rápidamente Bahia San Quintín que Bahia Falsa; para el primer segmento de esta rama, la máxima concentración se presenta 16 horas después de la inyección en tanto que para el primer segmento de la otra rama, este máximo (mayor) tiene lugar unas horas antes. Sin embargo, debido a la mayor longitud de Bahia San Quintin, el trazador tarda mas horas (9.5) en llegar a su cabeza (segmento 17) que en llegar a la cabeza de Bahia Falsa (segmento 7): 3 horas. Después del primer dia, del total de tinta inyectada aún quedan en toda la Bahia de San Quintin poco más del 7% y en toda la Bahia Falsa cerca del 3% siendo la proporción en esta distribución de 1:2.23 y reduciéndose al séptimo dia a 1:1.34 debido a que el evacuado de la tinta se realiza antes en Bahía Falsa por ser más corta; es decir la cantidad de tinta que se acumula inicialmente en Bahia San Quintín es proporcionalmente mayor que en Bahia Falsa debido al mayor volumen de la primera

cuenca, pero al transcurrir el tiempo estas cantidades se hacen casi iguales a la mayor rapidez de evacuación de Bahía Falsa, debido a su extensión más corta.

Este mismo patrón se repite cuando se hace la inyección en el segmento 3 (bifurcación). Aquí una mayor cantidad de tinta es llevada hacia el interior, teniéndose al final del primer dia un 21% de la concentración inicial en Bahía San Quintín y sólo un 10% en Bahía Falsa, en tanto que a la semana, estos valores han descendido a un 4 y 3% respectivamente.

Notese además que para todos los casos de distintas inyecciones (Figuras 14,15,16,17 y 18), siempre las curvas de los segmentos 2 y 3 aparecen muy juntas, indicando que se comportan dinámicamente como un solo segmento, es decir aparentemente existe buena mezcla cerca de la boca.

Cuando la tinta es introducida en Bahia Falsa, los máximos ocurren antes aqui que en el resto del estero y desde luego es mayor la cantidad que se distribuye en esta rama, aunque valores muy pequeños son llevados hacia San Quintin (cerca del 4% en el 3er. dia para inyección en 5, en el 40. dia para el segmento 6 y poco más del 2% para el 50. dia después de inyección en segmento 7); casi toda la distribución es sobre Bahia Falsa (Tabla II). TABLA II

Distribución de Tinta Para Cada Rama. Inyección en Bahía Falsa y Boca.

| ito de Dias de ción de inye | H HU(04 N − 0 F | α ⊣D(0)4 m -0 i≻ | ው ማርማ ው ወ ወ ሥ | ר אט(ש 4 ש ס ע |
|--------------------------------|---|---|--|--|
| spués cción | | | 1 | |
| Porcentaje para Bahía Falsa | លក្ខភាភ ភាកាល់ភាភាភា | o o o o o o o o o o o o o o o o o o o | 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 | 4 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 |
| Porcentaje para San Guintín | ក្រុស្លុល។។ សហយាលក4 | びまま 0.4.0.0.0.0.4 0. 4 / 0.4 0 0 | ឧ យ | |
| Porcentaje eliminado | 999939.0 97.00 7.00 7.00 7.00 7.00 7.00 7.00 | 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 | 987796 98779 9870 9410 9400 9400 9000 | 8 8 9 9 9 1 1 9 1 9 1 9 1 9 1 9 1 9 1 9 |

5 0

Porcentajes del total <u>inicial</u> (no del total diario).

Para inyección en los primeros segmentos de la otra rama (9,10 y 11) gran parte de la tinta alcanza la boca rápidamente y sólo una parte muy pequeña es introducida hacia Bahia Falsa. Esta cantidad se reduce a medida que el segmento inyectado es más cercano a la cabeza y tarda más en entrar a la otra rama. También a medida que se avanza hacia la cabeza es más lenta la dispersión de la tinta y se encuentran concentraciones mayores para el mismo periodo de consideración que en el caso anterior y los segmentos más cercanos a la boca. Asi por ejemplo, cuando se inyecta en el segmento 15, los máximos relativos ocurren antes en todos los segmentos de Bahia San Quintin (dentro de la primera semana después de inyección) que para la otra rama (donde ocurren media semana después) (figura 17.b); tendencia semejante se ve al inyectar en el segmento 17 (figura 18). El efecto inverso se ve al inyectar en el segmento 7 (figura 15). En general, la tendencia de la tinta es a salir del estero más que a permanecer en él y a los siete dias se ha perdido cerca del 64% del total inicial, quedando cerca del 35% en San Quintin y sólo un 1% en Bahia Falsa, cuando ha se inyectado en el segmento 15 (Tabla III).

Notese que por comparación, al inyectar en el segmento 7 (Bahia Falsa), a los siete días se ha perdido el 82% de la tinta, quedando 16% en Bahia Falsa y 2% en Bahia San Quintin. Estas conclusiones son importantes por su aplicación a la dispersión de larvas de ostión sembradas en las cabezas de

TABLA III.

Distribución de Tinta Para Cada Rama. Inyección en Bahía San Quintín_t

| Porcentaje eliminado | 4 7 7 9 7 7 9 7 7 9 7 7 9 7 9 7 9 7 9 7 | は まち ち て の イ 4 4 6 0 7 7 8 7 8 7 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 | -000000400000-400000000000000000000000 | 400404 4007794 0040070 |
|--------------------------------|--|--|---|---|
| Porcentaje para San Quintín | 000 110 110 110 100 100 100 100 100 100 | а с с с с с с с с с с с с с с с с с с с | ສ ຊ ຊ ຊ ຊ ສ ຊ ຊ ຊ ຊ ສ ຊ ຊ ຊ ຊ ສ ຊ ຊ ຊ ຊ ສ ຊ ຊ ຊ ຊ | у 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 |
| Porcentaje para Bahía Falsa | 4044000 2400400 | លាយលលកាល ក្លាល់សាស់សា | o o r u n n n o o r | 00000 0000 0000 0000 000 000 000 000 0 |
| Dias después de inyectada | <u>ግ (ባ (ዓ ዋ ዓ ቦ - 0 / -</u> | ግ ርባ ርብ 4 ፲፬ ብ ሥ | <u>ግ ሀ ዓ ዓ ዓ ታ ታ </u> | |
| Segmento de inyección | 0- | 11 | (9) | 10 e1 |

ambas bahias y que deben permanecer catorce dias en suspensión para que los cultivos sean efectivos. A este respecto, para inyección en el segmento 7 (cabeza de Bahia Falsa) se encuentra que a los catorce dias después de inyectada la tinta, aún quedan en la Bahia cerca del 3% del total inicial, en tanto que para el mismo periodo, con inyección en el segmento 17, se tiene un 8% del total.

Por otro lado, considerándo la permanencia en todo el estero y para diferentes segmentos de inyección (figura 19) se encuentra que los segmentos cercanos a la boca pierden una cantidad considerable durante las primeras horas, viéndose este efecto retardado para inyección en segmentos cercanos a la cabeza en San Quintín, que registran tiempos de permanencia mayores, y notándose que estos tiempos en la cabeza de San Quintín son mayores que en la cabeza de Bahía Falsa.

Las vidas medias obtenidas (figura 19 y Tabla IV) confirman lo dicho anteriormente, ya que son del orden de horas para los segmentos 2,3 y 9, y de 1 a 4 dias para los segmentos 4-7,10-12 y de 4 a 7 dias para los segmentos restantes (13-17); esto permite dividir el estero en tres diferentes zonas según la rapidez de evacuado (figura 20): Una primera zona que abarca los segmentos más cercanos a la boca (2,3,9) y para la cual se tiene un evacuado muy rápido (en términos de horas), una segunda zona que comprende los segmentos 10 y 11 de Bahía San




TABLA IV.

Vidas Medias, Cuartas y Octavas Para Todo el Estero,

. £ . Para Inuerridu en Dife

| | - | T | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------------|-------|----------|----------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------------------|--------|
| | (Horas | 1.52 | 4.90 | 8. 23 | 8. 77 | 9.20 | . 6 0 | 5. 40 | 9.37 | 9. 00 | 11.00 | 11.50 | 12, 12 | 12.45 | 13.00 | 13. 22 |
| ţn. | н 1 Сл Сл | | | | | | 2 | | | | 1 | | | | | |
| ALLELENCES DEGMENTO | T23% (Horas) | 0. 60 | 0. 45 | 5. 25 | 5.75 | 6.12 | 6.40 | 2.80 | 6. 25 | 5.76 | 7. 62 | 8.06 | 8, 62 | 9.15 | 9.37 | 9.40 |
| | T _{50%} (Horas) | 0.19 | 0. 90 | 2.25 | ល ស ស | 10 76 | 9. OE | 26 O | ୟ. ୫୦ | 3.15 | 4. 25 | 5.00 | 5,00 | 5. 38 | ସ. 6 ଅ | 6. 06 |
| | Segmento de inyección | ณ | (9 | 4 | ល | -0 | N | D- | 10 | 11 | 1 | 13 | 14 | ίS | 16 | 17 |

64



Figura 20.- Segmentación de Bahía de San Quintín según rapidez de evacuado del trazador.

Quintin y la totalidad de los segmentos de Bahia Falsa (segmentos 4,5,6 y 7) un poco más lenta que la anterior (evacuado en dias) y una tercera zona en la que el trazador es reducido en toda la Bahia al 50% de su concentración inicial para inyecciones en los segmentos 12-17 (Bahia San Quintin) en alrededor de una semana.

IV. DISCUSION.

El modelo desarrollado puede ser aplicado aún con sus limitaciones como una aproximación inicial a problemas de dispersión de particulas en suspensión en lagunas costeras de canal unidimensional ramificado.

suposiciones Las iniciales 1 a en derivación (unidimensionalidad, buena mezcla en el segmento de inyección, etc.) son justificables ya que existe evidencia de este tipo de comportamiento en diversos estuarios bajo condiciones semejantes (Elliot 1972; Pritchard et al, 1979, etc.). En en la aplicación que aqui se ha particular hecho, 1 a unidimensionalidad se apoya y justifica en las mediciones de diversos parametros efectuadas, que revelaron escasas variaciones transversales o verticales. La buena mezcla en el segmento de inyección es una hipótesis que no se cump1e completamente en la realidad en los intervalos de tiempo iniciales, ya que requeriría una mezcla total instantánea, para una inyección que es prácticamente puntual. Esto produce que los primeros valores medidos en tiempo sean mayores que los predichos por las curvas del modelo en casi todos los casos.

El modelo no considera ningún coeficiente de dispersión. En lugar de este coeficiente, se consideran descargas simultáneas de intercambio en ambas direcciones en cada frontera de segmento, simulando un proceso advectivo y difusivo-turbulento simultáneo. Esto es una ventaja con respecto a modelos que consideran coeficientes de dispersión, por lo problemático de la determinación experimental de estos, y su variabilidad espacio-temporal. Sin embargo, representa una desventaja en cuanto quita al modelo un grado de libertad de calibración posible.

Se utiliza además un coeficiente de reflexión en la boca que permite ajustar la salida de trazador del estero y con ello modular la dispersión hacia las partes cercanas a la boca. Este tipo de coeficiente ha sido usado con anterioridad por Elliot (1972) y Carter (1976), entre otros, con buenos resultados.

La diferencia entre los valores de concentración de trazador calculados y los medidos es mayor para los primeros dias después de la inyección (hasta el segundo dia por lo regular) ello se puede explicar en función de que en el modelo se asume que la tinta se ha mezclado muy bien en el segmento en el que se inyectó y en aquellos segmentos cercanos, cosa que ni para este estero, ni para ningún otro, ocurre en la realidad, por no existir procesos que instantáneamente (con velocidad

infinita) dispersen un trazador desde un punto geométrico a un volumen finito. Sin embargo, modificar el modelo para dar cuenta de esta primera etapa del proceso es trabajoso e injustificado, ya que en los instantes siguientes se alcanza una mezcla homogénea.

Sin embargo, puede decirse que los resultados obtenidos son bastante razonablemente cercanos a los valores medidos a pesar de las limitaciones y la sencillez del modelo, ya que aunque no considera esfuerzos del viento, ni fricción en el fondo y de que la dinámica de la onda de marea sólo es considerada indirectamente a través de la conservación de sal, las diferencias con los valores reales no son muy significativas.

La concentración inicial es proporcionalmente más alta en cada segmento inyectado, respecto a los demás y por ello el decrecimiento de la concentración del trazador para estos segmentos es más rápido.

El decaimiento de los valores de concentración de tinta para todos los segmentos es de forma semejante a una exponencial como es de esperarse en este tipo de problemas (véase también Pritchard et al., 1979).

La poca variación que se encontró en los valores de

concentración calculados para diferentes coeficientes de reflexión en un rango entre O y 0.75, indica que el modelo es poco sensible a las fluctuaciones de este fenómeno y que son otros los parámetros que gobiernan el comportamiento de la tinta para los primeros segmentos en la Bahía, en particular el mecanismo de intercambio advectivo-difusivo en los segmentos interiores.

La evacuación del trazador es muy rápida en la zona cercana a la boca debido a la descarga de ambas bahías y a la entrada de agua nueva con cada ciclo de marea, impidiendo con ello que las concentraciones máximas adquieran valores grandes.

El hecho de que para el segmento 6 no se encuentren valores significativos después del dia 12 para el caso no estacionario, no concuerda aparentemente con lo sostenido por Monreal (1980) quien encuentra, para su aplicación del Modelo de Carter (1967), valores no-nulos para la concentración de 1 a tinta después de 14 dias de inyectada, sin embargo su modelo es del tipo analítico, más simple que el que presenta este trabajo; y hace escasas suposiciones físicas, limitándose a proponer un decaimiento exponencial de las concentraciones en todo punto, y no entra en consideraciones sobre 1 a hidrodinámica del fenómeno.

Por otra parte, los máximos de concentraciones relativas,

para inyección en segmentos de Bahia Falsa, para los segmentos de Bahia San Quintin (9-17), ocurren mucho despues, indicando que existe un mecanismo que aunque lento, introduce trazador a estos filtimos segmentos.

Los resultados indican que no se puede considerar a las dos ramas de esta bahía como cuerpos independientes desde el punto de vista que nos ocupa sino que tiene lugar una interacción que afecta a ambas ramas. Esto podría ser importante porque la emisión de un contaminante, por ejemplo, una rama se reflejarla en una modificación de en las condiciones existentes en sectores de la otra rama. Sin embargo, los porcentajes mostrados en las tablas 2,3 y 4 indican que este transporte inter-bahlas es siempre de una magnitud pequeña (menor del 10%) lo que para muchos efectos practicos (si los niveles absolutos no son muy elevados) podría llegar a despreciarse.

La mayor similitud encontrada entre los resultados del modelo no estacionario y los valores observados, en comparación a los encontrados entre estos y los resultados del estacionario confirman que mientras más completo es un modelo mejor se puede simular la dinámica de un fenómeno dado.

Los resultados de la simulación del segundo experimento, inyección en Bahia San Quintín el dia 12 de julio y

que tuvieron concentraciones subsecuentes, muestran se significativas después del segundo dia de la inyección y un lento evacuado por la boca. La casi desaparición de la tinta con rapidez en los segmentos en la realidad, indica que las condiciones para el modelo son más estables que la situación real y que factores tales como las condiciones de marea viva, o la influencia de vientos o fricción en el fondo no están muy bien representadas. Debe notarse también que el segundo experimento se efectio con una cantidad muy pequeña de tinta remanente del primer experimento, y que dado el mayor volumen de la cuenca de Bahia de San Quintin comparado con Bahia Falsa, las concentraciones estuvieron siempre muy cerca del umbral de detección del instrumento y muy pronto quedaron bajo este. Además es de notar que Del Valle (1979) usando un modelo numérico hidrodinámico más completo, en cuanto que incluía conservación de momentum, revelb las serias dificultades de simular la dinámica de esta rama (Bahla de San Quintín) debido a las abruptas variaciones espaciales y temporales del esfuerzo del viento y la fricción del fondo, aún con los diferentes estados de marea.

Para la simulación de este segundo experimento de tinta y en general para inyecciones en otros segmentos, el encontrar concentraciones bajas para el segmento 17 ratifica lo encontrado en otros trabajos en esta bahía, en el sentido de que la obstrucción artificial en la frontera de este segmento

influye grandemente en sus condiciones dinámicas.

Por otro lado los resultados de la dispersión en los segmentos cercanos a la boca --los segmentos 2 y 3-- indican que dinámicamente estos segmentos se pueden considerar como uno solo.

La separación por zonas de la bahia según su rapidez de evacuado, ha sido uno de los resultados de la aplicación de este modelo en la Bahia de San Quintin. La aproximación inicial asl obtenida es de importancia para estudios de problemas de dispersión de contaminantes y de larvas de organismos, y también para cuerpos de agua cuyas características se adapten a las restricciones de este modelo: tenga una ramificación, que tenga un ancho pequeño que comparado con su longitud, que los gradientes transversales de sus propiedades sean despreciables, que exista homogeneidad vertical y que el esfuerzo del viento sobre la superficie y la fricción en el fondo no sean muy intensos y por tanto, caracteristicas no lineales puedan no tomarse en cuenta.

Literatura Citada.

- Alvarez Borrego, S., M. Acosta Ruíz y J. Lara Lara. 1977. Hidrologia Comparativa de las Bocas de Dos Antiestuarios de Baja California. Ciencias Marinas, 4(1): 1-11.
- Backhauss, J. 1980. On Currents in the German Bight, p. 102-132. En Mathematical Modelling of Estuarine Physics (J. Sundermann y K.P. Holz, eds.) Springer-Verlag, Berlin.
- Caponi, E. A. 1976. A Three-dimensional Model for the Numerical Simulation of Estuaries. Advances in Geophysics. 19:189-310.
- Carter, H. H. 1967. A Method for Predicting Brood Stock Requirements for Oyster (<u>C. Virginica</u>) Producing Areas With Application to the Manokin River. Chesapeake Bay Institute. The Johns Hopkins University. 31 p.
- Carter, H. H. 1976. Simple One Dimensional Kinetic Model Results for the Bush River and Romney Creek. Chesapeake Bay Institute, The John Hopkins University. Special Rep. 49.

De la Paz Vela, R. 1978. Hidrodinámica y Dispersión de

Contaminantes en el Estero de Punta Banda, B.C. Tesis Profesional. Universidad Autónoma de Baja California (U.C.M.). Ensenada, Baja California, México. 93 p.

- Del Valle Lucero, I. 1979. Aplicación de un Modelo Numérico y Análisis de Condiciones Hidrodinámicas en Bahía de San Quintín. Tesis de Maestría. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. Ensenada, Baja California, México. 80 p.
- Del Valle Lucero, I. y H.R. Cabrera Muro. 1981. Análisis Estadístico de Condiciones Hidrodinámicas en la Bahía de San Quintín, B.C. Verano de 1977. Ciencias Marinas. 7 (1):17-29.
- Dronkers, J.J. 1969. Tidal Computations for Rivers, Coastal Areas and Seas. Proc. ASCE, Vol. 95 HYI No. 6341.
- Elliot, A.J. 1972. A One Dimensional Segmented Transient State Model of the Bush River Estuary. The Baltimore Gas β Electric Company. Baltimore. 36 p.
- Elliott, A.J. 1975. A Steady State Two-Layered Non-Coupled Dynamic and Kinematic Estuarine Model With Application to the Potomac Estuary. Chesapeake Bay Institute. Special Report 44. 29 p.

Elliott, A.J. 1976. A numerical Model of the Internal Circulation in a Branching Tidal Estuary. Chesapeake Bay Institute. Special Report 54. 85 p.

- Forsythe, G. E., M. A. Malcolm y C. Moler. 1977. Computer Methods for Nathematical Computations. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, N.J. 259 p.
- Gear, C. W. 1971. The Automatic Integration of Ordinary Differential Equations, p.176-190. En Communications of the Association for Computing Machinery, vol. 14. New York, N.Y.
- Gorsline, D. y R. Stewart. 1962. Benthic Marine Exploration of Bahia San Quintin, Baja California, 1960-61 Marine and Quaternary Geology. Pacific Naturalist. 3(8):275-280.
- Harleman, D.R.F. y C.H. Lee. 1969. The Computations of Tides and Currents in Estuaries and Canals, Technical Bulletin No. 16. Corps of Engineers, U. S. Army. 143 p.
- Heaps, N.S. 1969. A Two-Dimensional Numerical Sea Model. Phil. Trans. Roy. Soc. A265: 93-137.

Heaps, N.S. 1980. Spectral Method for the Numerical Solution

of the Three-Dimensional Hydrodynamic Equations for Tides and Surges, p. 75-90. En Mathematical Modelling of Estuarine Physics.(J. Sundermann y K.P. Holz, eds.) Springer-Verlag., Berlin.

- Hornbeck, R. W. 1975. Numerical Methods. Quantum Publishers Inc. New York. 310 p.
- Hull, T. E., W. Enright, B. Fellen y A. Sedgewick. 1972. Comparing Numerical Methods for Ordinary Differential Equations. SIAM Journal on Numerical Analysis, 9(4):603-637.
- Monreal Gómez, M. A. 1980. Aplicaciones de un Modelo de Dispersión en Bahia San Quintin, Baja California, México. Tesis de Maestria. Centro de Investigación Científica y de Educación de Ensenada., Ensenada, Baja California, México. 80 p.
- Ocampo Torres, F. J. 1980. Análisis de Mareas y Predicción de Velocidad Mediante un Modelo Unidimensional en Bahía San Quintín, B. C. Tesis Profesional. Universidad Autónoma de Baja California (U.C.M.)., Ensenada, Baja California, México. 94 p.

Plascencia Díaz, R. M. 1980. Determinación de Circulación en

Bahia San Quintin, B. C. por Gradientes de Densidad. Tesis Profesional. Universidad Autónoma de Baja California (U.C.M.)., Ensenada, Baja California, México. 80 p.

- Pritchard, D.W. 1969. Dispersion and Flushing of Pollutants in Estuaries. J. Hydraulics Div., Proc. ASCE 95 HY1:115-124.
- Pritchard, D.W. 1977. Un Plan de Estudio de la Hidrografia Física de los Esteros, p. 25-31. En: Discuciones Internas Sobre Labores de Investigación y Docencia. Centro de Investigación Científica y de Educación Suprior de Ensenada., Ensenada, Baja California, México.
- Pritchard, D. W., R. De 1a Paz Vela, S. Farreras Sanz, H. Cabrera Muro y E. Morales Guerrero. 1979. Hidrografia Física del Estero de Punta Banda: II. Ciencias Marinas, 6(1-2):17 p.
- Van de Kreeke, J. y S.S. Chiu ,1978. Tide-Induced Residual Flow, p. 133-144. En: Mathematical Modelling of Estuarine Physics (J. Sundermann y K.P. Holz, eds.) Springer-Verlag., Berlin.

Wilson, R.E., 1973. A Numerical Model of Dynamics in the Lower

Potomac Estuary. Ph. D. Thesis, The Johns Hopkins University, Baltimore. 199 pp.

e (

APENDICE.

U

000000000 O 507 NO EL NUMERO DIAS PARA SEGMENTO SEGMENTOS VALORES DEL AREA SUPERFICIAL A(I, J) EN PPM, ND. EL CUAL DCURRE LA RAMIFICACION, DISPERSION DE CONTAMINANTES PARA TIEMPO) ESTAN DADOS, ESTACIONARIAS. S(I,J) CADA Y PARA CADA TIEMPO (J) EN DIAS. TAMBIEN EL NUMERO DE SEGMENTOS EN EL BRAZO PRINCIPAL, NI, DE SEGMENTOS EN EL BRAZO SECUNDARIO, N2, Y EL NUMERO DE E(I, J) EN M/SEG, PARA SALINIDAD DZ LOS CUALES LOS PARAMETROS (VARIANDO EN EL COND LO LONES (四本本王 四田 EN SON LOS PARA SEGMENTO PARA M**2, VOLUMEN V(I, J) (LINEAL) UNIDIMENSIONAL RAMIFICADD, ENTRADA NUMERO DE DEL EVAPORACION VALOR DE DE I=NB, EL MODELO ESTERO DATOS (I) EN N N.

COMMON/BEE/B1(6,27),B2(6,27),B3(6,27),B4(6,27),B5(6,1) GIL(27, 50), QIUR(27, 50), V(27, 50), SGE(27, 50), GE(27, 50), COMMON/GASTOS/A(27, 50), S(27, 50), E(27, 50), QD(27, 50), SEG(50), T(50), TNDRM(10, 10), AUX(8, 50), GIRB(1, 50) SV(27, 50), SS(27, 50), SVD(27, 50), SSD(27, 50), DIMENSION TRAB(290), ITRAB(17), PC(17), C(17) COMMON/ESQUEM/NB1, NB2, NB3, NB4, NH, NH1, NB, ND IMPLICIT REAL*4 (A-H, D-Z) IMPLICIT INTEGER*2 (I-N) PARAMETER CCERD =818.117 CCERD=22. 3546 CCER0=674.131 COMMON/ESQ1/ERRE, NOFUN CCER0=1.4822 CCER0=1.6 EXTERNAL FON, FOU COMMON /TIE/DOUT DATA NOFUN/0/ TOL=0. 000001 PARAMETER PARAMETER PARAMETER PARAMETER TT(50), 5 11 C 5 N

0

CALL DGEAR (NEGN, FCN, FCJ, TXT, H.C. TISALE, TOL, METH, MITER, INDEX, READ(5,102)((A(I,J),V(I,J),S(I,J),E(I,J),I=1,NEQN),J=1,ND) FDRMAT(///,3X,3H I ,11X,4HC(I),5X,/,30X, WRITE(1, 1002)(I, C(I), I=1, NEQN) ARITE(6,1111)DE,(C(KK),KK=1,9) WRITE(6,1111)D, (C(WW), WM=1,9) 20HOUNCENTRACION EN PPB, ///) WRITE(6,1112)(C(KK),KK=10,17) WRITE(1, 1003) ISEGNA, DE, NDFUN EAD(5, 100)NEGN, NB, N1, N2, ND G010 20 C(6)=(CCERD*1.E 06)/V(6,1) EAD(5, 101)ERRE, TXT, MAXT FORMAT(3X, I3, 6X, E12.4) DE=TISALE*0. 333333/8. 'ISALE=FLDAT(I)#24.0 FORMAT(5X, 2F8, 2, 15) TISALE=FLOAT(I)*3.0 IF(ISEGNA GT. 128) ITRAB, TRAB, ISEGNA) 0E=TISALE*0.0416667 FORMAT(5X, 4E13, 2) CALL BODEQ (NEQN) FORMAT(5X, 5I5) DO 1 L=1, NEQN WRITE(1,1001) I=1, MAXT C(L)=1.E-08 PC(1)=0.0 NBU-NBU-EBN 2+10N=+87 TN+DN=TBN VB2=NB1+1 VDIN-THV DOUT=TXT INDEX=1 MITER=0 VH=N5+1 AETH=1 1 00 1002 1001 100 100 101 N 0 5.)

A-2

ADDEDDE FORMAT(/,16X,5HSIGMA= ,E11.3,8H GRAMOS ,//,9X,1HI,7X,4HC(1),7X, FORMAT(4X, 7HISEGNA= , 15, 3X, 6HTISALE= , F15. 0, 3X, 7HNOFUN=, 15) , 8H ISEGNA= , I3, ///) QIL(27,50),QIUR(27,50),V(27,50),SQE(27,50),QE(27,50), COMMDN/GASTOS/A(27, 50), S(27, 50), E(27, 50), QO(27, 50), WRITE(1, 666) TOL, TISALE, H. TXT, METH, MITER, INDEX, NEGN 7H PC(I) , 5X, 19HPESO SECO EN GRAMOS, // WRITE(1, 1006)(J, C(J), PC(J), J=1, NEGN) FORMAT(////////3X, 3HI= , F9, 3, 5HD IAS FORMAT(1H , 7X, I3, F11. 3, E16. 4) WRITE(6,1112)(C(WK), WM=10,17) FORMAT(// 3X, 7HNOFUN= , I8, ///) PC(II)=C(II)*V(II,I)*0.1E-02 IMPLICIT REAL*4 (A-H, D-Z) IMPLICIT INTEGER*2 (I-N) C**************** FORMAT(5X, F11. 2, 9F11. 5) WRITE(1,1004)DE,ISEGNA SUBROUTINE BODEQ (NEQN) FORMAT(5X,4E16.6,4I8) FORMAT(5X, 5H!HELP!) FORMAT(14X, 9F11.5) WRITE(1, 1007)NOFUN WRITE(1,1005)SIGMA (II)D4+bW018=bN018 DO 3 II=2, NEGN WRITE(1, 1011) SIGMA=0.0 CALL EXIT GUTO 313 CONT INUE CONTINUE END -1 ネホホホロ 1112 1003 1004 1004 1001 1005 1111 1011 999 (1) (1) (2) 0 N D 0 Q

A-3

SV(27, 50), SS(27, 50), SVD(27, 50), SSD(27, 50),

TT(50),

NO

COMMON/BEE/B1(6,27),B2(6,27),B3(6,27),B4(6,27),B5(6,1) 4 SEQ(50), T(50), TNORM(10, 10), AUX(8, 50), QIRB(1, 50) COMMON/ESQUEM/NB1, NB2, NB3, NB4, NH, NH1, NB, ND 50 SVD(I, J)=(SV(I, J+1)-SV(I, J-1))/1. 723E SVD([, J)=(SV(I, J+1)-SV(I, J-1))/48 33(I· (1) = 33(I, (1) + ((**r**) (1) *3((**r**, (1))) 33([', 1) = 33([', 1)+((r, 1)*3(r, 1) SQE(I, U)+SQE(NB3, U) SV(I, J) = SV(I, J) + SV(NB3, J)SS([, J) = SS([, J)+SS(NB3, J) SV(I, J) = SV(I, J) + V(L, J)SQE(I, J)=SQE(I, J)+QE(L, J) SQE(I, J)=SQE(I, J)+QE(L, J) SV(I, J) = SV(I, J) + V(L, J)(C) (M) 日本(C) (M) 日本(C) (M) 日の THN DO 444 K=1,NEGN 0.0 SSD(I, J) = 0.00.0 I = NB3, 9 J=2, NH2 I=1, NEGN SV(I,J) = 0.0SS(I, J) = 0.0DO 10 I=1, NH1 L=1, NH1 DO 6 I=1, NB1 6 L=I, NB1 QE(1, J)=0.0 DO 8 J=1, ND I=1, NB11 30日(1, 1) 二日 T-ON I CHN I+IHN=0HN SQE(I, J) SVD(I, J) CONTINUE CONTINUE CONT INUE CONTINUE PAUSE 1 Lr) D0 4 D0 7 DO 00 00 DQ ID r o 444 00

0

C

A-4

QIRB(1, J)=(S(NB, J)*(SQE(NB3, J)+SVD(NB3, J))-SSD(NB3, J))/(S(NB3, J)) (S(I, J)*(SQE(I+1, J)+SVD(I+1, J))-SSD(I+1, J))/(S(I+1, J) QIL(NB, J)=(S(NB, J)*(SQE(NB, J)+SVD(NB, J))-SSD(NB, J))/(S(NB, J)) QIUR(NB, U)=(S(NB, U)*(SQE(NB+1, U)+SVD(NB+1, U))-SSD(NB+1, U)) QIUR(NB3, J)=(S(NB3, J)*(SQE(NB4, J)+SVD(NB4, J))-SSD(NB4, J))/ GIL(NB3, U)=(S(NB3, U)*(SQE(NB3, U)+SVD(NB3, U))-SSD(NB3, U))/ (S(I, J)*(SQE(I, J)+SVD(I, J))-SSD(I, J))/(S(I, J)) SSD(I, J)= (SS(I, J+1)-SS(I, J-1))/1.728E 05 55D(I, J)=(55(I, J+1)-55(I, J-1))/48 F(I, EQ, NB3)GO TO 12 . EQ. NB) GO TO 11 SUD(I, ND) = SUD(I, NH2)11 SSD(I, NH2) WRITE(1, 333) GIRB(1, J) (()(NB+1,))-S(NB,)) 1 (S(NB4, J)-S(NB2, J)) SSD(I, 1) = SSD(I, 2)SVD(I, 1) = SVD(I, 2)1 (S(NB3, J)-S(NB, J)) IF(I . EQ. NB) 0070 FORMAT(5X, F20, 10) QIUR (NB1, J)=0. 0 QIUR (NB2, J)=0.0 GIUR (NH1, U)=0.0 GIL(NB2, J)=0.0 QIUR(1, J)=0.0 DO 13 I=1, NH1 JU 31 1=2, NH1 DO 15 J=1, ND QIL(1, J)=0.0 1 -5(NB-1, J)) -B(I-1, J)) GIUR(I, J) =SSD(I, ND) =-(() (BN)()- $\operatorname{OIL}(I, J) =$ ((()'))) - 2(I'))) GO TO 13 CONTINUE CONTINUE GO TO 13 1) 41 67 10 177 177 (9 (9 (9 0

C

11.1

A-5

Q

LICN************** COMMON/BEE/B1(6,27), B2(6,27), B3(6,27), B4(6,27), B5(6,1) QO(NB, O)=QIL(NB+1, O)+QIOR(NB-1, U)+QIL(NB3, O)+QE(NB, O) COMMON/ESQUEM/NB1, NB2, NB3, NB4, NH, NH1, NB, ND CALL LEASTQ(1, 6, ND, AUX, GIRB, TT, TNDRM, B5) 20(MB3, J)=QIL(NB4, J)+QIRB(1, J)+QE(NB3, J) LEASTG(I, 6, ND, AUX, GIUR, TT, TNORM, B2) LEASTQ(I, 4, ND, AUX, QIL, TT, TNDRM, B1) LEASTQ(1, 6, ND, AUX, QD, TT, TNDRM, B3) QD(I, J)=QIL(I+1, J)+QIUR(I-1, J)+QE(I, J) LEASTG(I, 6, ND, AUX, V, TT, TNDRM, B4) CALL MATIME (ND, 5, T, TNORM, AUX) SUBRDUTINE FON(NEGN, TXT, C, CP IMPLICIT REAL*4(A-H, D-Z) IMPLICIT INTEGER*2 (I-N) COMMON/ESQ1/ERRE, NOFUN DIMENSION CP(17), C(17) . EQ. NB3) GOTO 33 T(J) = (TT(J) - 1, 0) + 24, 0NH1 0.0 0.0 QIUR(I,J) = 0.000 14 I=NEQ, 27 C C********* DO 16 I = 2, GIL(I, J)=0.0 QD((1, J) = QO(I, J)=0.う = (へ)ト 30 (NB2, U) CONTINUE CONTINUE CONTINUE CONTINUE GOTO 31 10100 RETURN 1) 11 CALL CALL CALL CALL END 10-ID す

0

的 円 円

U

N CS

A-6

CP(NB)=GILT(NB)*C(NB-1)+QIURT(NB)*C(NB+1)+QIRBT*C(NB3)-(QDT(NB)+ QILT([)=B1(1,1)+B1(2,1)*TXT+B1(3,1)*TXT**2+B1(4,1)*TXT**3+B1(5,1) QIRBT=B5(1,1)+B5(2,1)*TXT+B5(3,1)*TXT+25(4,1)*TXT**2+B5(4,1)*TXT**3+B5(5,1)* VT(I)=B4(1,I)+B4(2,I)*TXT+B4(3,I)*TXT*82+B4(4,I)*TXT**3+B4(5,I)* QIURT(I)=B2(1, I)+B2(2, I)*TXT+B2(3, I)+TXT**2+B2(4, I)*TXT**2+B2(5, VTP(I)=B4(1,1)+B4(2,1)*TP+B4(3,1)*TP**2+B4(4,1)*TP**2+B4(4,1)*TP**3+B4(5,1)* GDT(I)=B3(1,I)+B3(2,I)*TXT+B3(3,I)*TXT*&2+B3(4,I)*TXT**3+B3(5, CP(NB3)=QILT(NB3)*C(NB)+QIURT(NB3)*C(NB4)-(QDT(NB3)+(VTP(I)-CP(NB)=(QILT(NB)*C(NB-1)+QIURT(NB)*C(NB+1)+QIRBT*C(NB3)-CP(I)=(QILT(I)*C(I-1)+QIURT(I)*C(I+1)-QOT(I)*C(I))/VT(I) CP(I)=QILT(I)*C(I-1)+GIURT(I)*C(I+1)-(QDT(I)+(VTP(I)-DIMENSION GILT(27), GIURT(27), GDT(27), VT(27), VTP(27) (ATP(I)+VT(I))+C(NB) 1)*TXT**4+B2(6, I)*TXT**5 1)*TXT**4+BG(6, I)*TXT**5 1 *TXT**4.131(4, I)*TXT**5 TXT**4+B4(6, 1)*TXT**5 1 TXT**4+05(b, 1)*TXT**0 T 00T(NB)*C(NB))/VT(NB) DOUT) GOTO (7) NB2)G0T0 4 U1 NB3 (GOTO NB)0010 I VT(I))/HI)*C(I) COMMON /TIE/DOUT NT III +日4(9,1)*1F**5 DO 5 1=2, NEGN DO 4 1=2, NH1 TXT=TX/3600. F(TXT . NE. PARAMETER ю. Ш IH+LXL=dL EQ. IF(I .EQ. CONTINUE CONTINUE CONT INUE PAUGE 1 サホホロト IYHI 1) 11 0100 0100 0 00

U) .D

C

QN

() ()

U U

CP(NE3)=(GILT(NE3)*C(NE)+QIUFT(NE3)*C(NE4)-QDT(NE3)*C(NE3))/ 5000) GUTU 1234 1 VT(I))/HI)*C(NBG) CP(1)=ERRE*CP(2) CP (NB2)=CP (NB1) VDFUN=NUFUN+1 F (NOFUN . LE. CONTINUE PAUSE 3 1VT (NB3) 00

4

U

CALL EXIT RETURN END 1234

DIMENSION C(NEGN), PD(NEGN, NEGN) SUBROUTINE FCU(NEGN, TXT, C, PD) IMPLICIT REAL*4 (A-H, 0-Z) INTROFILED NEON RETURN **山N**田 0

DIMENSION XP(10,10), XX(50), X(10,10), AUX(8,50) SUBROUTINE MATIME(ND, N, XX, X, AUX)

SUBRUTINA MATIME

FURMA LA MATRIZ DEL

Q 0

SISTEMA DE ECUACIONES NORMALES PARA AJUSTE POLINOMIAL POR EL METODO DE MINIMOS CUADRADOS.

ND=NUMERO DE DATOS 0 U OD

N=GRADU DEL POLINOMIO A AJUSTAR

XX=VECTOR-ND QUE CUNTIENE EN LA ENTRADA EL ARREGLO DE LAS VARIABLES INDEPENDDIENTES.

0000

UU

SISTEMA DE X=MATRIZ DE NXN QUE CONTIENE EN LA SALIDA EL ARREGLO DEL ECUACIONES NORMALES.

AUX=MATRIZ DE NXND EN LA SALIDA ES APLICABLE PARA FORMAR EL ARREGLO DE TERMINOS INDEPENDIENTES

PROD=PROD+AUX(I,K)*X(K, O) WRITE(6,120)AUX(I, J) WRITE(6,121)X(I, J) WRITE(6,120)PRUD FORMAT (5X, E12.5) m X(I, U)=XX([)+44K AUX(I, J)=X(J, I) () () = X = () () X (I,) FORMAT(5X, E12. KP(I, J)=PROD AUX(I,1)=0.0 DO 1 1=1, ND 2 I=1,N1 DO 2 J=1, ND DO 3 K=1, ND DD 6 1=1,N1 DO 6 J=1, N1 5 I=1, N1 4 J=1,N1 X(I,1)=1.0 DO 1 K=1, N PROD=0.0 CONTINUE CONTINUE CONTINUE CONTINUE CONTINUE P HSDAT I+N=IN 1+1=0 00 00 DQ 121 120 00 0 U -----ON [9] 10 t

A-9

WRITE(6,151)X(I, U)

- FORMAT(6E12.5) 101 .0
 - CONTINUE
 - AUX(1,1)=1.0
 - RETURN
 - **UNE**

- O
- O
- SUBROUTINE LEASTQ(I, M1, ND, AUX, Q, TT, TNGRM, B) INTEGER ND. M1. I, WTT
- DUUBLE PRECISION GE(10), TMOD(6, 6), TRAB(10, 10), GI(10) REAL AUX(8, ND), G(27, ND), TT(ND), TNORM(10, M1), B(6, 1) DIMENSION AUX(8, 50), G(27, 50), TT(50), TNORM(10, 10), B(6, 6)
- SUBRUTINA LEASTO

000

- SUBRUTINA MATIME, TAMBIEN UTILIZA LAS SUBRUTINAS HECOMP Y HOLVE PARA REALIZA AJUSTE POLINOMIAL POR EL METODO DE MINIMOS CUADRADOS, UTILIZA LA MATRIZ DEL SISTEMA DE ECUACIONES NORMALES DADA POR LA RESOLVER EL SISTEMA.
- I-NUMERO DEL SEGMENTO PARA EL QUE SE HACE EL CALCULO (ENTRADA) MI=GRADU DEL POLINOMIO A AJUSTAR MAS UND.(M+1) (ENTRADA) M=GRADU DEL POLINOMIO A AJUSTAR (ENTRADA)
 - ND=NUMERO DE DATOS (ENTRADA)
 - AUX=MATRIZ DE MXND QUE CONTIENE EL ARREGLO DE VARIABLES
- INDEPENDIENTES UTIL EN LA CONSTRUCCION DEL ARREGLO DE TERMINOS INDEPENDIENTES DEL SISTEMA
 - G=VECTOR-ND QUE CONTIENE EL ARREGLO DE TERMINOS INDPTES. (ENTRADA) TT=VECTOR-ND QUE CONTIENE LOS INDICES NECESARIOS PARA IDENTIFICAR ADECUADAMENTE A Q
- DEL TERMINOS INDPTES. TNORM=MATRIZ DE MXM GUE CONTIENE EL ARREGLO DE TERMINOS INDPTE SISTEMA DE ECUACIONES NORMALES (ENTRADA) B=MATRIZ DE MXNSEG QUE CONTIENE LOS COEFICIENTES DEL POLINOMIO
 - AJUSTADO (SALIDA)
- PAUSE 4

0

0 U

- DO 2 J=1, M1

CALL DLINEQ(QI, QE, TMOD, TRAB, 6, 7, IERR) CALL HOLVE (MI, MI, MI, TMOD, U, GE WRITE(6,141)AUX(J,W),Q(I,WT) CALL HECOMP (MI. MI, MI, TMOD, U) TMOD(IM, UM)=TNORM(IM, UM) WRITE(6,138)B(J,I) FORMAT(5X, 2E13, 5) WRITE(6,139)@E(J) FORMAT(4X, E20, 13) FDRMAT(3X, E20, 13) WRITE(1,123)IERR DO 4 IM=1, M1 4 UM=1, MI 00 20 J=1, M1 (つ)10=(1 つ)日 DO 1 K=1, ND 10 3 J=1, M1 FORMAT(IQ) 3E(J)=PROD KTT=TT(K) JUNI TNUC PROD=0.0 CONTINUE CONT INUE CONTINUE TRACE 2 TRACE 4 PAUSE 6 PAUSE 1 RETURN END DQ 190 (1) (1) (1) 100 141 20 Q 0 0 O [9] 0 ----DI O 4 U O 0 m Q

Course service service and a contraction was a service service