

MODELO NUMERICO DE CIRCULACION Y DISPERSION PARA AGUAS COSTERAS

JOSE CARLOS SANTAS LOPEZ (*)
CRISTINA BENITO GUINEA (*)

RESUMEN. Se presenta un modelo en diferencias finitas aplicado a la circulación y dispersión de contaminantes. El modelo numérico está desarrollado siguiendo el esquema explícito y con la discretización «leap-frog». Ha sido aplicado con éxito a la zona del Golfo de Vizcaya, y en especial al área de la Bahía de Fuenterrabía. La inclusión de términos de decay permite su aplicación a un amplio abanico de contaminantes, siempre y cuando cumplan las condiciones de dilución previas previstas conocidas como «zona de campo lejano».

ABSTRACT. A finite differences model is presented for application to the dispersion and circulation of contaminants. The numerical model is developed following the scheme and with leap-frog discretization. It has been successfully applied in the Bay of Biscay area, and in particular in the Fuenterrabía zone. The inclusion of decay terms makes it applicable to a wide range of contaminants, as long as they fulfil the envisaged prerequisite dilution conditions known as «far field zone».

1. INTRODUCCION

La elección del punto de ubicación de un vertido de aguas residuales al mar es, quizás, el punto más problemático en un proyecto de saneamiento de una población costera. El enfrentamiento de los diferentes aspectos a considerar y la opinión pública que siente intensamente estos problemas, hace que la toma de decisión deba ser avalada por estudios de optimización de las diferentes alternativas de vertido.

La herramienta usada para el estudio de estas alternativas suelen ser los modelos matemáticos por su facilidad de amoldarse a las condiciones deseadas para ensayar.

La idea seguida es obtener soluciones aproximadas de las ecuaciones que rigen el fenómeno estudiado y particularizarlas para la zona en estudio. El sistema matemático empleado para la circulación de las aguas costeras corresponde a las conocidas de Saint Venant, conservación de flujo y de momento, a las que hay que añadir la de conservación de masa vertida.

Sólo en casos realmente tan simples que son inexistentes, este sistema de ecuaciones tiene solución analítica. Además las condiciones hidrodinámicas que existen en las zonas litorales, aguas someras, con fricción de fondo y de superficie (viento), marea, aportes, evaporación, etc., y las propiamente dispersivas, turbulencia y decay, hacen imposible todo tipo de aproximación teóri-

ca, tanto más cuanto menos rectilínea sea la costa y menos suave el fondo.

En este artículo se presenta un modelo de circulación y dispersión para aguas litorales desarrollado en el CEEPYC, CEDEX, y aplicado con éxito en varias situaciones. El modelo de circulación fue presentado anteriormente (Santás, J. C., y Benito, C., 1986), habiéndosele añadido la parte de dispersión y decay en la actualidad.

El sistema presenta además la ventaja de poder aplicarse desde un PC, por medio de paquetes soft fácilmente asequibles para cualquier compatible.

2. SISTEMA MATEMATICO EMPLEADO

Para obtener la variación temporal y espacial de un determinado contaminante que se vierte en uno o varios puntos de la zona en estudio, se parte de las ecuaciones de flujo y de la ecuación de conservación de masa contaminante, con o sin decay.

Por lo tanto, el sistema matemático de trabajo está constituido por:

1. Ecuación de conservación de masa total.
2. Ecuaciones de Saint Venant.
3. Ecuación de conservación de masa contaminante.

Dado que no se considera que la densidad del medio varíe en la zona en estudio y que la contaminación es tan baja que no afecta a la densidad del medio, no se tiene en cuenta la ecuación de estado de la densidad de agua:

$$Dw = Dw(x, y, t)$$

(*) Centro de Estudios y Experimentación de Puertos y Costas. ICEPYC, CEDEX, MOPUI.

Los supuestos básicos para la aplicación de este modelo son los siguientes:

1. MODELO DE CIRCULACION

- a) Densidad constante y homogénea.
- b) Presión hidrostática.
- c) Ausencia de velocidades verticales.
- d) Variación suave en el calado.
- e) Fondo y costa impenetrable.
- f) Variación suave de los coeficientes de fricción de viscosidad turbulenta.
- g) Onda de ataque (marea) cuasistacionaria.
- h) Viento y flujo de río constantes o, al menos, de variación lenta.
- i) Presión atmosférica constante y homogénea.
- j) Válida la aproximación de Boussinesq respecto a los valores medios.

2. MODELO DE DISPERSION

- a) Baja concentración.
- b) Ausencia de efectos intermoleculares.
- c) Decay en la forma $C = C0.exp[-L \cdot t]$ proporcional a la concentración, t = tiempo de residencia del contaminante en el medio.
- d) Parámetro de decay $L = \ln 10/T(90)$ donde $T(90)$ es igual al tiempo de desaparición del 90 % de la masa contaminante por efecto intrínseco.
- e) Difusión fickiana.

Con estas premisas el sistema matemático se puede expresar como:

$$d_t h + d_1 (U \cdot h) + d_2 (V \cdot h) = S_{ia} \quad (1)$$

$$d_t (Uh) + gh \cdot d_1 \beta + h \cdot d_1 (U^2 h) + h \cdot d_2 (UVh) - K_1 \cdot [d_1^2 (Uh) + d_2^2 (Uh)] - fhV - \quad (2)$$

$$- (Da/Dw) \cdot C_d \cdot W_{10,1} \cdot |\bar{W}_{10}| + K_f \cdot U \cdot |\bar{V}| = S_1$$

$$d_t (Uh) + gh \cdot d_2 \beta + h \cdot d_2 (V^2 h) + h \cdot d_1 (UVh) - K_2 \cdot [d_1^2 (Vh) + d_2^2 (Vh)] + fhU - \quad (3)$$

$$- (Da/Dw) \cdot C_d \cdot W_{10,2} \cdot |\bar{W}_{10}| + K_f \cdot V \cdot |\bar{V}| = S_2$$

$$d_t (Ch) + d_1 (UCh) + d_2 (VCh) - D_1 \cdot [d_1^2 (Ch)] - D_2 \cdot [d_2^2 (Ch)] = S_c - L \cdot C \cdot h \quad (4)$$

donde se han empleado los operadores siguientes:

$$d_t = \frac{d}{dt}; d_1 = \frac{d}{dx}; d_2 = \frac{d}{dy}; d_1^2 = d^2/(dx)^2; d_2^2 = d^2/(dy)^2;$$

y la siguiente definición de variables:

β = sobreelevación sobre (o bajo) el nivel de medimarea del mar (N.M.M.),

- D = calado, medido respecto al N.M.M.,
- h = profundidad instantánea = $\beta + D$,
- (U, V) = componentes cartesianas de la velocidad media en la vertical, cuyo módulo es $|V|$,
- C = concentración de contaminante, promedio en la vertical ($u \cdot cont./m^2$),
- $(W_{10,1}, W_{10,2})$ = componentes del viento a 10 m,
- $|W(10)|$ = módulo de la velocidad del viento a $z = + 10$ m,
- f = factor de Coriolis = $2 \cdot \omega \cdot \text{sen}\theta$, con: ω = velocidad angular terrestre ($7,2722 \cdot 10^{-5}$ rad/s) θ = latitud de la zona en estudio,
- g = aceleración de la gravedad = $9,81 \text{ m/seg}^2$,
- C_d = coeficiente de empuje superficial del viento,
- D_a = densidad del aire = $1,293 \text{ kg/m}^3$,
- D_w = densidad del agua = $1,023 \text{ E} + 3 \text{ kg/m}^3$,
- K_f = coeficiente de fricción de fondo = g/C^2 , siendo: C el coeficiente de Chézy,
- L = parámetro de decay: $L = \ln 10/T(90)$,
- S_{ia} = flujo de masa del río por unidad de área superficial, expresado como Q/S , $[(m^3/s)/(m^2)]$,
- $S_{1,2}$ = componentes del momento del aporte fluvial p por unidad de área superficial, expresado como $S_m \cdot V_{1,2}$, $[m^2/s^2]$,
- S = concentración contaminante en el vertido calculada c como $C0/Dil. \text{ inic.} \times \text{flujo vertido} / \text{sección superficial de las celdas de campo cercano} \{ [(UC)/(m^3)] \cdot (m^3/s)/(m^2) \}$
- $K_{1,2}$ = coeficientes de viscosidad total según los ejes.
- $D_{1,2}$ = ídem de difusión total según las dos direcciones.

3. APROXIMACION NUMERICA

Las condiciones dadas para las ecuaciones empleadas parecen en principio fuertemente restrictivas pero no es así. Realmente sólo las condiciones de homogeneidad vertical y contaminante ya disperso restringen el uso del modelo a no existencia de capas horizontales (termoclina difusa, gradiente térmico vertical inferior a $1 \text{ }^\circ\text{C/m}$) y a emplearlo para la zona de campo lejano.

El empleo de este sistema de ecuaciones está ampliamente generalizado en la literatura (J.J. Nihoul, 1987; Abbot, M. B., 1979, etc.). Solamente los modelos 3D, actualmente en desarrollo, trabajan en condiciones de inhomogeneidad explícita vertical. No existen modelos fiables combinados que incluyan 3D y el propio punto de vertido.

El esquema de discretización empleada es similar al

usado anteriormente en el modelo de circulación (Santás, J. C., y Benito, C., 1986):

- Celdas cuadradas de lado $Dx = Dy$.
- Ejes tomados como:
 $Ox =$ definido positivo al Este.
 $Oy =$ definido positivo al Norte.
- Explicito de diferencias finitas tipo «salto de la rana»: centrada en los términos de orden 0 y 1, y atrasada, para eliminar inestabilidades, en los de orden 2.

La condición de estabilidad, necesaria al usar un sistema explícito, es la Courant-Friederich-Levy, según la cual t ha de ser inferior al crítico t_c , dado por:

$$t_c = (g \cdot D_{med})^{-1/2} \cdot (Dx \cdot Dy) / (Dx + Dy) \quad (5)$$

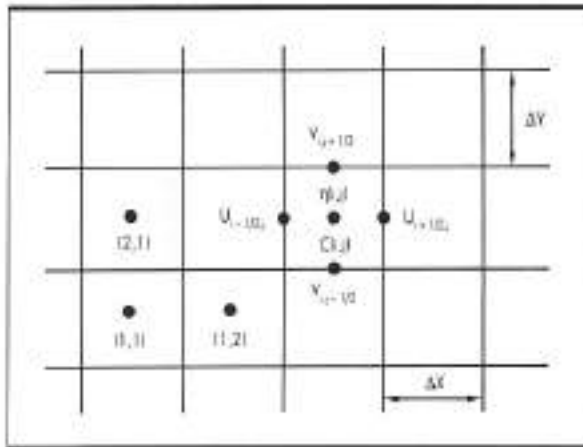


FIGURA 1. Puntos de Cálculo y celda de discretización.

Esta condición limita el tiempo de paso t en función del tamaño de celda y de la profundidad de la zona, estando el número de celdas limitado por la propia memoria del ordenador a emplear. Se necesita un estudio detallado de cada aplicación para conseguir las mejores condiciones de uso, y eso es algo que sólo la experiencia puede ir determinando.

4. CONDICIONES DE ENTRADA O INICIALES

Las condiciones de entrada se definen por el usuario en razón a:

- Posición del Borde Exterior (celdas B.E.).
- Posición del Borde de Costa (celdas B.C.).
- Posición de los aportes (celdas RIO).
- Posición de las fuentes difusoras (celdas de emisión).

CELDA B.E.:

- Posición (i,j) .
- Sobreelevación en función del tiempo respecto a un Nivel Medio del Mar (NMM) para todas y cada una de las celdas del B.E.

La condición de onda en el B.E. se da como datos de un archivo correspondiente a una serie temporal para cada punto de la línea del borde.

Dicha serie temporal puede generarse de dos formas:

- A partir de datos de predicción, reconstruyendo la onda a partir de las componentes armónicas correspondientes, o, como a veces se realiza en la fase de comprobación, con una sola componente o varias.
- Partiendo de datos reales tomados en prototipo (campana de datos) mediante una interpolación lineal y temporal.

En ambos casos las series presentarán un punto por cada paso de integración y para cada celda del borde.

CELDA B.C.:

- Posición (i,j) .
- Condición de impenetrabilidad para ambas componentes de la velocidad (u,v) , o una de ellas.

CELDA RIO:

- Posición (i,j) .
- Flujo de masa y cantidad de movimiento.

CELDA CON FUENTES DIFUSORAS:

- Posición (i,j) .
- Flujo de masa de dichas celdas, teniendo en cuenta que la o las celdas consideradas son entendidas de forma que por sus paredes pasa contaminante al medio de una forma homogénea y encierran la zona de dispersión mecánica de campo cercano, cuya dilución será necesario calcular por las expresiones al uso.

5. RESULTADOS OBTENIDOS

Las salidas de resultados se pueden subdividir en tres tipos:

- Salidas opcionales elegidas por el usuario en los instantes de tiempo requeridos, presentando el estado de las variables en toda la malla.
- Salidas en los puntos de calibración elegidos previamente sobre la malla y en continuo.
- Salidas de las corrientes residuales, componentes (U_r, V_r) , correspondientes al promedio de las velocidades obtenidas durante un número completo de ciclos de marea, no menor de 4.

Opcionalmente se puede presentar la batimetría de la zona.

Todas las salidas son obtenidas en ficheros de disco para su posterior análisis y dibujo.

El programa desarrollado se implementó inicialmente en un ordenador HP 1000 A-900 con s.o. RTE-IV en lenguaje FORTRAN-77, y su diagrama de bloques se encuentra en la figura 2. Actualmente está implementado en un HP 9000-836 con s.o. Unix.

6. INFORMACION DE ENTRADA EMPLEADA

La aplicación del modelo se realiza en dos fases:

- Calibración.
- Explotación tras haber sido verificado el programa de cálculo.

Para la calibración, consistente en el ajuste de los parámetros de control $(K_f, K1, K2, D1, D2)$ con el fin de conseguir el mejor acuerdo entre la realidad y los re-

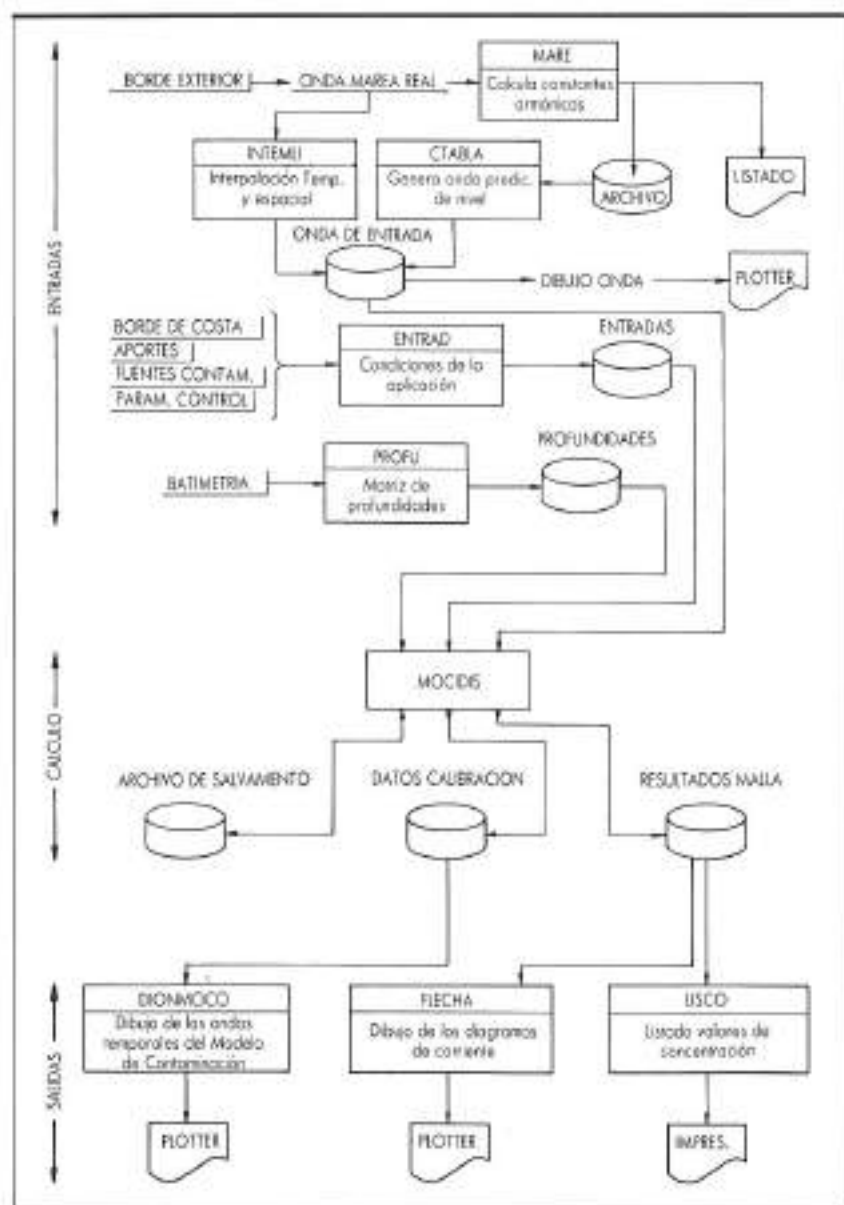


FIGURA 2. Diagrama de flujo del modelo.

sultados del modelo, se precisan datos de marea, corriente y concentraciones en algunos puntos del espacio físico considerado. Es lógico deducir que cuanto mejores y más abundantes sean dichos datos, mejor es la calibración.

Dichos datos deben ser:

- Onda de marea registrada en varios puntos.
- Corriente medida en varios puntos, al menos durante un ciclo de marea.
- Velocidad del viento.
- Caudales aportados desde tierra.
- Caudales aportados por las fuentes difusoras y concentración y tipo de contaminante.
- Conocimiento de las manchas contaminantes y su evolución temporal.

— Decay de la sustancia contaminante.

Esta información debe ser previamente estudiada para eliminar aquella que no es coherente con las variables e hipótesis de entrada (Wang, J. D., 1982; Santás, J. C., 1986; CEPYC, 1987; Santás, J. C., 1988).

Una vez calibrado el modelo se realiza la explotación, para lo cual se precisa conocimiento de los datos de campo que puedan esperarse (desde un punto de vista estadístico), a fin de definir las alternativas hidrodinámicas de prueba para cada una de las zonas de vertido en estudio.

El modelo producirá así resultados para las alternativas estudiadas. La fiabilidad será tanto mayor cuanto menos se alteren las hipótesis de partida, por lo cual la estima será tanto mejor cuanto menos extremas sean las situaciones ensayadas.

7. APLICACIONES REALIZADAS

Se han realizado cuatro aplicaciones del modelo de circulación y dos del modelo conjunto de circulación-dispersión, que serán las que resumiremos como ejemplo de las aplicaciones posibles.

Inicialmente se aplicó a la Ría de Pontevedra, en la cual se ensayaron tres posibilidades, consistentes en un foco con y sin decay y dos focos de emisión contaminante de tipo efluente urbano tipificado, realizadas todas ellas como prueba de la bondad del modelo.

La aplicación última realizada ha tenido como zona de estudio el Golfo de Vizcaya, en la zona de la Bahía de Cabo Higuer donde se estudiaron vertidos urbanos, vertidos industriales y derrames de aceites.

Las condiciones de cada ensayo, así como algunos de los resultados obtenidos, se presentan a continuación.

	PONTEVEDRA		FUENTERRABIA		
APLICACION	1 FOCO	2 FOC.	ZONA 2 DETALLE		
N. CELDAS	1350	=	304	720	720
DELTA(t)	500	=	250	125	125
Tc	9,45	=	6	1,6	1,6
T paso	6	=	3	1,5	1,5
C. TURBUL.	CONSTANTES ESPAC.		CONST. ESPACIALES		
Kx	1000	=	1000	=	=
Ky	1000	=	1000	=	=
C. FRIC. Kf	CONSTANT.ESPACIAL		Kf = Kf + (1/(100 - H))		
n(Manning)	0,002	=	n medio = 0,002		
W(10)	3,4 (NNE)		0 6 m/s (NNE)		
FLUJO RIO	4 m ³ /s		27	27	27 m ³ /s
ONDA ATAQUE	MAREA 136 ARMONI		MAREA ONDA REAL		
T TOTAL	5 CICLOS M2		6 CICLOS M2		
C. DIRUS.	CONSTANTES ESPAC.		dif. según direcciones		
Dx	1000	=	100	100	100
Dy	1000	=	50	50	50
TIPO EFLU.	VERTIDO CONST.		colec. urbano aceite		
DE. INC.	120	=	0		
CONC. INI.	1E+04	=	2E + 7c/100 ml		
			22a - 6g/(m ² · s)		
FLUJO CONT.	1E+04	=	0,05 m ³ /s		
DECAY.T90	NO	2	1,5	99	99 Hrs.

FIGURA 3. Parámetros empleados.

7.1. APLICACION A LA RIA DE PONTEVEDRA

Los datos de entrada corresponden a la onda de marea registrada en el borde oeste, bocas de entrada a la Ría, con tres mareógrafos Aanderaa WLR-5 fondeados durante julio y agosto de 1982, corregidos por las medidas de presión atmosférica obtenidas simultáneamente con una estación meteorológica Aanderaa.

Las series temporales de datos, obtenidas con un muestreo de 20 minutos, fueron suavizadas y remuestreadas a 1 punto/hora obteniéndose posteriormente las constantes armónicas de marea por el método de Doodson, siendo 3 horas el menor período de cálculo (octo-diurnas). Las series de trabajo se obtuvieron por predicción a partir de dichas constantes, a razón de un punto cada 6 segundos, tiempo de integración de la modelación, para el período 16 a 18 de agosto de 1982, época para la que se aplicó el modelo. En razón del submuestreo elegido se despreciaron ondas de período inferior a 2 h.

La información empleada en la calibración corresponde a los registros, mareogramas, de dos mareógrafos A.OTT situados en Marín y Sangeño, y a tres correntímetros Aanderaa RCM-4 instalados en diferentes puntos de la Ría.

Una vez ajustados los coeficientes de control no se aprecian diferencias entre las ondas de marea obtenidas a partir del modelo y las de prototipo, al emplearlas en la propia calibración.

Respecto a los datos de corrientes se han comparado las velocidades medidas con las dadas por el modelo. Para ello se ha trabajado en componentes rectangulares (U, V) en ambos casos. Las componentes longitudinales tienen una mayor contribución de la marea que las transversales, razón por lo que están más ajustadas (figs. 4 y 5).

En todas las series, tanto reales como de resultado del modelo, se observan unas ondas largas sobreimpuestas que corresponden a la oscilación longitudinal de L/4 de la Ría, detectada en el análisis espectral de las series reales de marea en la boca y de corrientes en el eje de la Ría.

Los resultados de contaminación son coherentes con los datos obtenidos en su día a partir de manchas de trazador. Se presentan a modo de ejemplo las curvas de variación temporal en dos puntos suficientemente separados del punto de lanzamiento como para que los datos fueran comparables entre sí. El foco se situó en la desembocadura del Lérez, celda (42,23) y suponiendo todo el flujo del río como un colector urbano, con una tasa de contaminación proporcional al número de habitantes. El decay se tomó de los datos de la normativa para aguas del Cantábrico.

7.2. APLICACION AL GOLFO DE VIZCAYA

La aplicación realizada tenía por objeto estudiar el transporte y dispersión de contaminantes en la bahía de Higuer y Rada de Fuenterrabía. La posición esquinada de la zona obligó a realizar tres aplicaciones:

- Malla amplia (limitada por la vertical por Bermeo y la horizontal por Biárritz) para determinar las condiciones hidrodinámicas de mar abierto de la malla menor.
- Malla menor (constituida por la bahía de Higuer, Hendaya y estuario del Bidasoa hasta Irún) aplicada sobre la zona directa de estudio.
- Malla de detalle, exclusiva para la desembocadura del Bidasoa, playas de Hendaya y Fuenterrabía y puerto de Fuenterrabía.

La primera es exclusivamente del modelo de circulación, con 52 × 17 celdas de 2.000 × 2.000 m, y la segunda y tercera de circulación y dispersión. Dado que tanto la primera como la segunda malla sólo se emplearon con el carácter de aproximar las condiciones de mar abierto a la zona de detalle, sólo se presentará esta última.

La variación temporal de la contaminación fue estudiada en diversos puntos de la zona en estudio, en especial en la de mayor problemática: zona de playa. Como vertido se simuló dos diferentes posibilidades: urbano, procedente del propio Bidasoa, pues los datos de

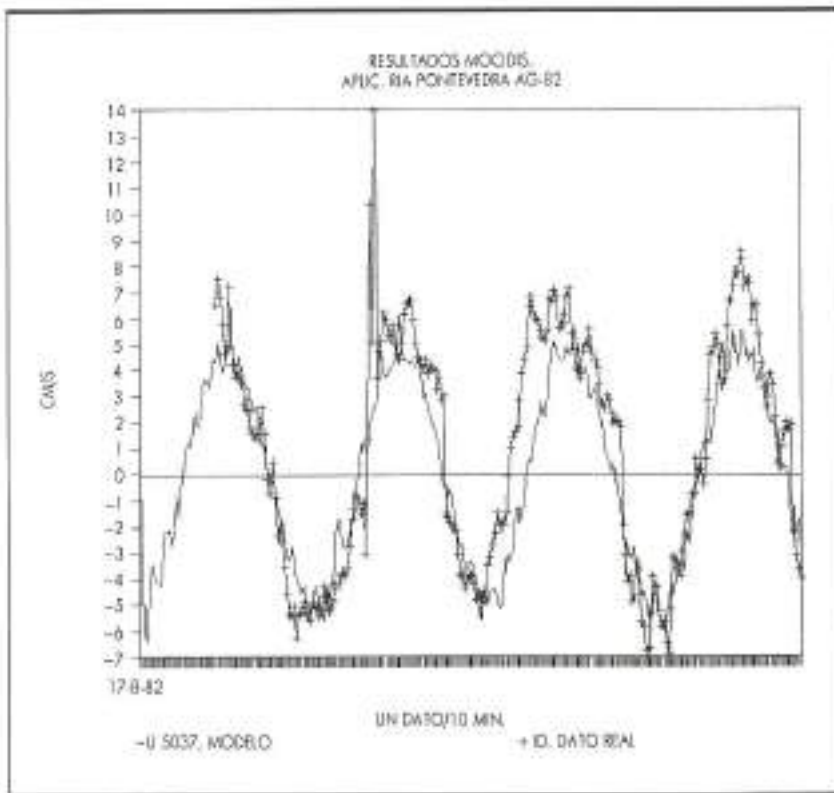


FIGURA 4. Comparación entre modelo y datos. Corrientes longitudinales en el eje de la Ría.

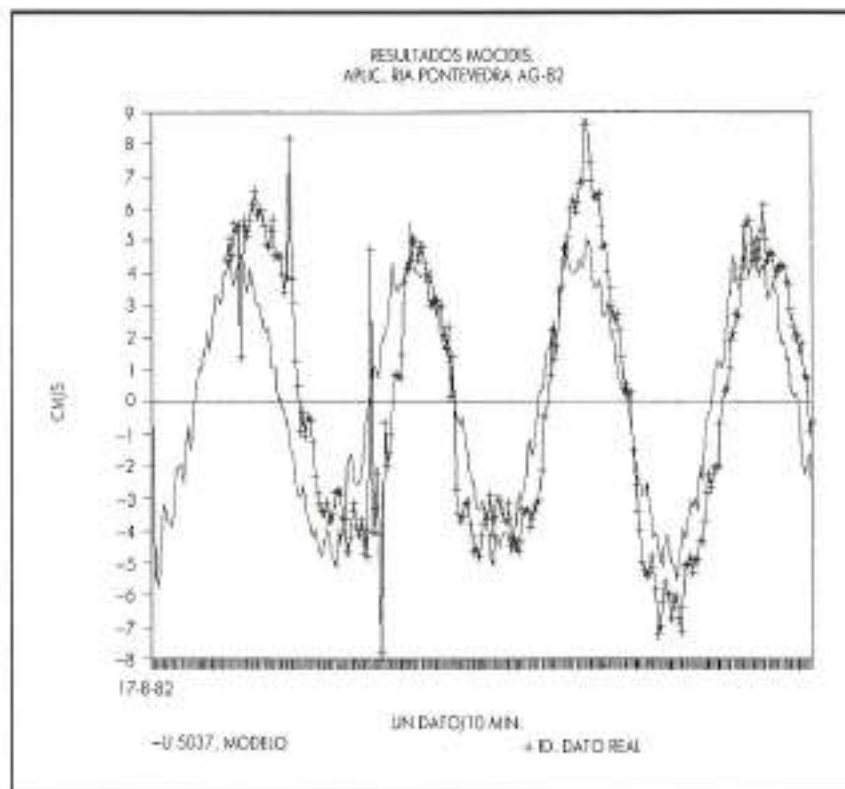


FIGURA 5. Comparación entre resultados del modelo y datos. Velocidades transversales en el eje de la Ría.

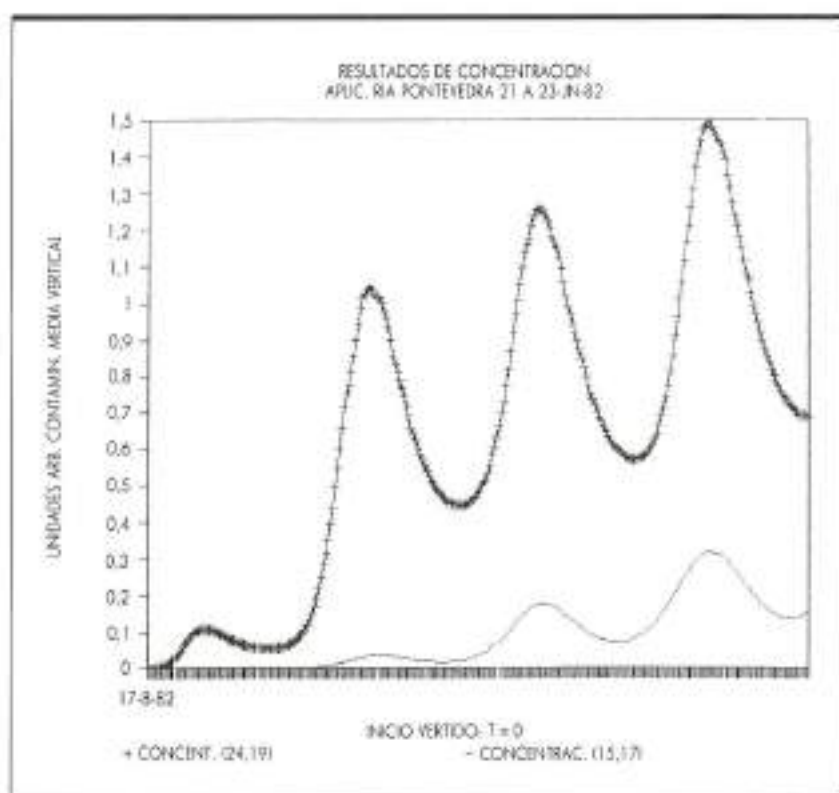


FIGURA 6. Resultados del modelo para contaminación urbana. Concentración en el eje de la río.

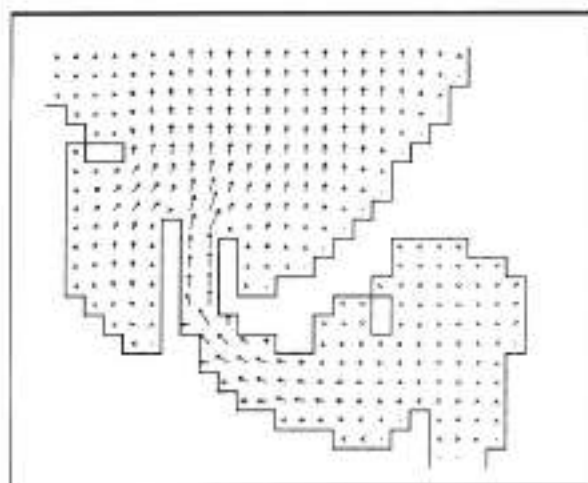


FIGURA 7. Malla de detalle. Corrientes de marea durante el 5.º ciclo de ensayo (marea real).

campo lo daban como el foco prioritario (CEPYC, 1988), con T(90) de 2 horas, y una segunda posibilidad con contaminantes de muy alta residencia vertidos directamente en el puerto con T(90) de 99 horas.

Con esta prueba se estudió las mejoras relativas que se podían esperar ante actuaciones proyectadas para ampliar el puerto. Por esta razón es válido el empleo del modelo, pues aunque la difusión de aceites no presenta

las características de homogeneidad vertical, es claro que si se parte de un supuesto, repartido verticalmente con un cierto valor promedio vertical, los resultados relativos obtenidos variando las características hidrodinámicas darán un índice de mejora o empeoramiento, aunque los valores absolutos no sean válidos.

A título de ejemplo se presentan las salidas obtenidas para algunos puntos de medida para concentración debida a colís (fig. 8).

8. RESUMEN Y CONCLUSIONES

En este trabajo se ha pretendido presentar la capacidad de un modelo de circulación y dispersión en diferencias finitas bajo esquema explícito para modelizar las condiciones hidrodinámicas y dispersivas de diferentes zonas de nuestro litoral. Las diferencias existentes entre los modelos explícitos e implícitos, hacia los que últimamente se les está dedicando gran interés dado su carácter de «inecondicionalmente estables», no son tan apreciables cuando se ha de trabajar con onda de marea, donde la fase de calibración es fundamental.

El principio de «prueba y corrige» permite ajustar perfectamente el modelo, cosa para la que es bueno que el modelo se desestabilice si los parámetros no son correctos, más que obligarle a autoestabilizarse por encima de todo. Ello se deriva del desconocimiento que se tiene de los valores que se han de emplear como parámetros de control, e incluso de la validez de los datos que, al respecto, se obtienen del prototipo.

Como test de la reproducibilidad del fenómeno es de notar el detalle de reproducir una oscilación longitudinal

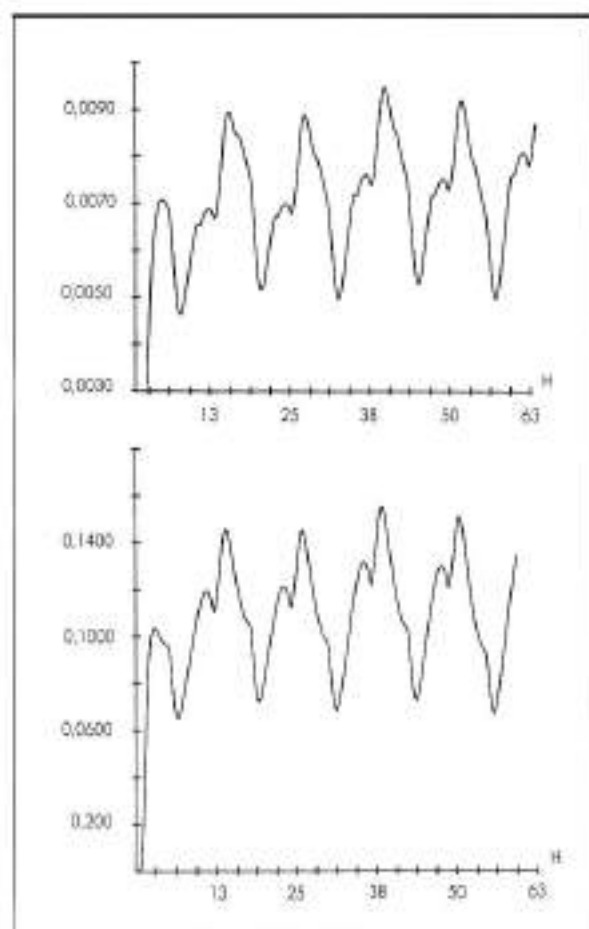


FIGURA 8. Salidas de datos de contaminación urbana: Playa y que del río, Interior del estuario.

no introducida como dato de entrada, así como en el parecido existente en las velocidades.

Por otra parte se ha revelado como muy importante eliminar cualquier tipo de discontinuidad en la onda de marea de entrada, bien por medio de suavizados, o mejor, trabajando con la onda resultante de la composición a partir de las constantes armónicas obtenidas del prototipo o de cualquier otra fuente si la hubiera.

Respecto a la calibración de los datos de contamina-

ción la variabilidad de los datos obtenidos en la naturaleza indican que sólo pueden usarse a título de condiciones medias sobre datos de bastante extensión temporal, y mismas condiciones climáticas en el más amplio sentido. No ha sido raro trabajar con errores relativos de hasta un 30 %, habiéndose tomado los valores medios como índice de control.

En cuanto a la zonificación de los parámetros de control, el ajuste mejor se ha obtenido dando a los coeficientes K y D valores iguales en tres zonas: desembocadura, canal de salida y tramo de mar.

La zona de desembocadura cumple el cometido de servir de «depósito» para albergar el prisma de marea, por lo que no reproduce la batimetría real, aunque sí el volumen calculado.

9. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen los consejos y charlas mantenidas al respecto de este modelo con D. Felipe Martínez y D. José María Grassa, así como el impulso de éste para continuar con el modelo desarrollado.

10. REFERENCIAS

ABBOTT, M. B. (1979). *Computational Hydraulics Elements of the Theory of Surface Flows*, Pitman Publishing Ltd., Londres, 151-156.

CEPYC, Inf. Tecn. (1985). *Modelo Operativo de Circulación en Dársenas y Estuarios*, CEDEX, MOPU, 1985.

CEPYC, Inf. Tecn. (1988). *Estudio de los proyectos a realizar en la zona de Hondarribia*, CEDEX, MOPU.

NIHOUL, J. C. J., ed. (1982). *Hydrodynamics of semi-enclosed seas*, Elsevier Publ. Co., Amsterdam.

SANTAS, J. C. (1986). *Estudio de Dispersión en rías*, Tesis doctoral, Univ. de Las Palmas.

SANTAS, J. C., y BENITO, C. (1986). *Modelo Operativo de Circulación en Dársenas y Estuarios*, Bol. Ing. Civil, 60, 65-71.

SANTAS, J. C. (1988). *Caracterización física de las aguas y corrientes de un estuario: Ría de Pontevedra*, VI Asamblea de Geodesia y Geofísica, Ins. Geog. Nar., MOPU, Madrid.

WANG, J. D. (1980). *Analysis of tide and currentmeter data for model verification*, Proc. of Int. Symp. on Mathem. Modelling of Stuarine Physics; Berlin, Springer Verlag, 151-171.



Pintura con secado al horno

S
V *Seversa*
SEÑALES VERTICALES, S.A.

**FABRICA DE SEÑALES Y
CARTELES SEGUN
NORMAS M.O.P.U.**



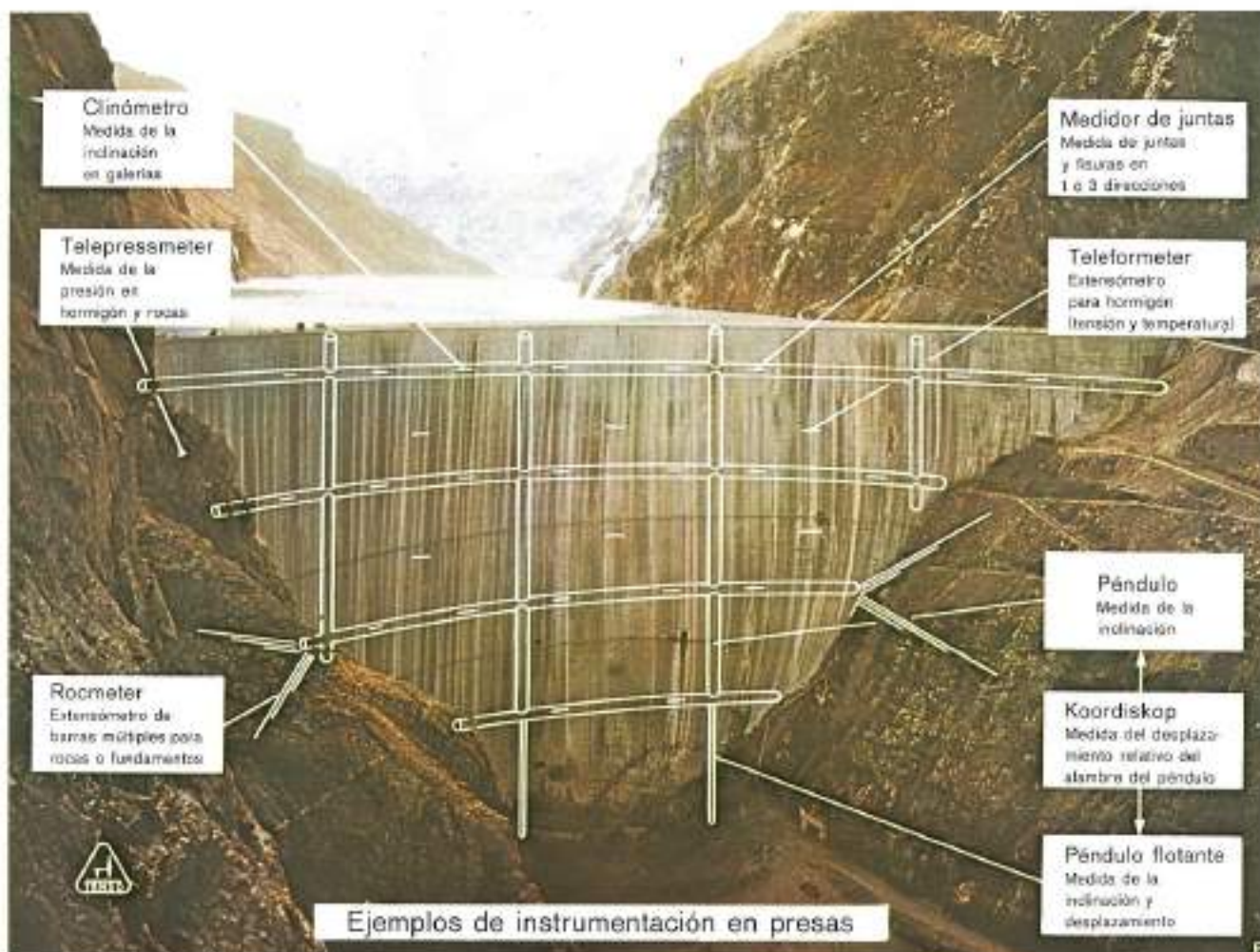
Reflectorización con adhesivos
de contacto y termoactivables



S
V *Seversa*
SEÑALES VERTICALES, S.A.

Jesús Artesano, s/n
P. Industrial
28695 NAVAS DEL REY (Madrid)
Tel. 865 00 14
Fax: 865 00 37

Empresa del Grupo **gruPisa**



HUGGENBERGER, S.A. Zurich

Instrumentos aparatos y equipos para supervisión en las construcciones y obras de ingeniería civil.

Tensiones, torsiones, inclinaciones, deformaciones, presiones, temperaturas, filtraciones; en presas de hormigón y tierra, estructuras, túneles, fundamentos, excavaciones y centrales nucleares.

Instrumentos mecánicos para medidas en rocas.

Más de 200 presas han sido equipadas en todo el mundo con instrumentos HUGGENBERGER.



Representante General para España:

**SANCHEZ-RAMOS
Y SIMONETTA • INGENIEROS S.A.**

CASA FUNDADA EN 1926

Gran Vía, 27 - 28013 Madrid
Apartado 1033
Teléfono: 521 46 45 - Telex: 23173

Badal 75, Entlo. 3.º
08014 Barcelona
Teléfono: 332 31 27