

CÁLCULO DEL CAMPO DE VELOCIDADES DE LAS CORRIENTES MARINAS EN LA BAHÍA DE CÁRDENAS

AUTORES: AMILCAR E. CALZADA ESTRADA
FRANCISCO MUT BENÍTEZ
JOSÉ M. MARÍN ANTUÑA
MANUEL ALBERTERIS CAMPOS

Departamento de Meteorología Marina, Instituto de Meteorología E-mail: amilcarce@yahoo.com

RESUMEN

El conocimiento de las características del campo de las velocidades de las corrientes marinas en la plataforma insular es de vital importancia en la solución de muchos de los problemas del medio ambiente. Este trabajo propone un método hidrodinámico denominado Método de los Análogos, que muestra detalles de estas corrientes en el interior de la bahía de Cárdenas, partiendo de un sistema de ecuaciones de Navier-Stokes.

El software utilizado para realizar las corridas es el PHOENICS, versión 1.4. La confección de los escenarios, que incluye condiciones de fronteras, ubicación de las líneas de los diferentes contornos y las fuentes del fluido, se inserta en un fichero de entrada nombrado Q1.

Los resultados son expresados por mediación de gráficos, cuyos vectores indican la dirección y fuerza de la corriente marina en todo el dominio, y a través de un fichero de salida, el cual presenta los valores en cada punto de rejilla y en cada instante, con un alto grado de precisión. Se realizan además, comparaciones entre los alcanzados por estas corridas y por otras analizadas en años anteriores, notando variaciones interesantes.

I. INTRODUCCIÓN

Para muchos trabajos realizados en el mar, las corrientes marinas figuran como un factor a tener en cuenta en la caracterización de un área marina determinada. La obtención de este campo a partir de algún software hidrodinámico es decisiva en el momento que se requiera una elevada exactitud. Para determinar, por ejemplo, el destino y la trayectoria de las manchas de petróleo en este medio (proceso extremadamente complejo), la mayoría de los modelos actuales conciben los valores puntuales en una rejilla en función del tiempo, partiendo de un sistema de Navier-Stokes o uno análogo.

En el presente trabajo nos proponemos alcanzar un resultado preliminar en torno a un modelo hidrodinámico que describa las corrientes marinas en una zona costera, de acuerdo con la metodología propuesta por Calzada y Marín (2002). Se describe la dinámica de las aguas de la Bahía de Cárdenas, cuya selección del acuatorio viene en correspondencia con la presencia en la zona de derrames de hidrocarburos y de estudios de corrientes con otras técnicas.

II. DESCRIPCIÓN FÍSICO-GEOGRÁFICA DE LA ZONA

La Bahía de Cárdenas penetra en la costa norte de la provincia de Matanzas en la isla de Cuba, entre

punta Morlás (23°12' N, 81°07' W) y los cayos de Manuy, 11.9 kilómetros al SE de punta de Morlás, y al SW y SE por la costa firme de la isla de Cuba, formando un seno cuadrangular de 30.3 kilómetros aproximadamente. Su extensión territorial oscila entorno a los 541.2 Km².

Las costas de la Bahía son bajas y cubiertas de mangle, excepto en el tramo ocupado por el puerto y ciudad de Cárdenas. Los cayos también de costa baja, pantanosa y cubierta de mangles con pequeños segmentos de playa en algunos de ellos. Entre los más representativos del área, como se nota en la figura 1, se encuentran cayo Buba, Libertad y Diana al NE (aunque en este sector de la Bahía se encuentran, a su vez, centenares de cayos pequeños y bajos a menos de 1 m de profundidad) cayo Cupey al SW y cayo Siguapa al NW, en la base de la península de Hicacos. De la costa firme sobresale punta de piedras, 6.5 millas al SSE de punta de Morlás, como el saliente costero más notable. El río San Antón desemboca en el fondo de la Bahía, cuyo caudal figura como el principal aporte de agua dulce al dominio (Instituto de Hidrografía, 1989). Al S y SW, tierra adentro hay algunas alturas y elevaciones aisladas que se destacan sobre un terreno llano.

con un software hidrodinámico que evalúa los valores de la presión, temperatura y concentraciones en el centro de la celda, del mismo modo que los valores de velocidades son evaluados en las caras.

Referido a la viscosidad, como precisaremos en la descripción del modelo, se entra un valor μ para estimar los efectos moleculares y la parte turbulenta es insertada por el software a través de un modelo K-epsilon predeterminado. De esta forma queda claro el comportamiento del flujo en cada punto del dominio.

Elaboración de la rejilla: Al presentar el área características difíciles para el diseño de los detalles geográficos en una rejilla rectangular con los ejes paralelos a los de las coordenadas geográficas, se decidió realizar una rotación tal y como lo muestra la figura 2. En ella se pueden apreciar subdominios distintos con desiguales tamaños de celdas, esto ha estado sujeto a la ubicación de las celdas cerradas, cuyo límite viene dado por las líneas negras y gruesas. La línea de color gris señala las celdas abiertas.

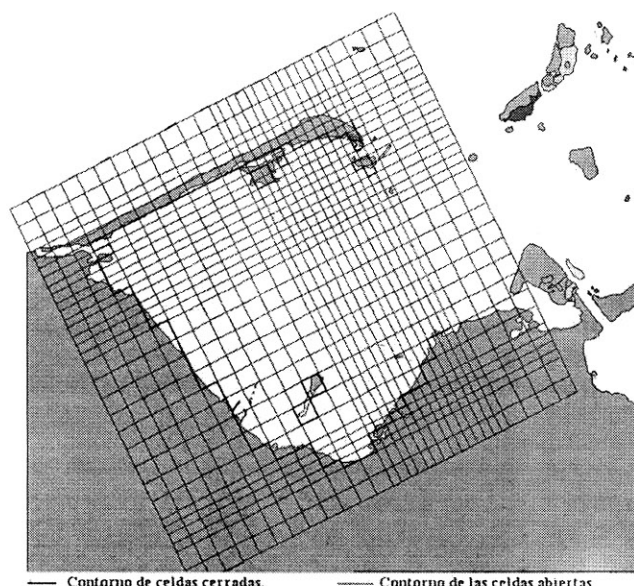


Fig. 2. - Rejilla confeccionada para el mejor estudio del dominio.

III.1. PHOENICS. Origen y funcionamiento

PHOENICS fue creado y elaborado por la compañía inglesa CHAM, que quiere decir Concentration, Heat and Momentum (Concentración, Calor y Momento). PHOENICS viene por los términos: Parabolic Hyperbolic Or Elliptic Numerical Integration Code Series (Series Codificadas de Integración Numérica Parabólica, Hiperbólica y Elíptica). Este fue el primer programa de Fluidodinámica Computacional de propósito general del mundo (PHOENICS producer, 1987).

El software en cuestión tiene dos partes esenciales y dos partes auxiliares: las esenciales son dos procesadores que se llaman **Satellite** (satélite) y **Earth** (tierra) y las

auxiliares son un post-procesador llamado **Photon** y un programa separado de auto instrucción llamado **Polis**. Ellos se encargan de interpretar, cambiar y organizar las instrucciones dadas por el usuario inicialmente en un fichero de entrada llamado Q1. Earth contiene el programa principal de simulación de fluidos, formado por una secuencia de códigos, los cuales representan las leyes relevantes de la Física Aplicada a los elementos de materia distribuidos en espacio y tiempo. El resto de las ocupaciones se centran en la interacción con el usuario, respondiendo a las instrucciones de entrada a través del teclado, representando las rejillas calculadas y el patrón del flujo en forma gráfica en la pantalla. Se puede representar las curvas de las variables dependientes en función de la distancia y el tiempo, y crear diagramas de contornos; todo esto puede ser visto, realizando cortes a través de planos seleccionados.

La esencia del trabajo con el software consistió en la elaboración exacta de cada uno de los grupos del fichero Q1, donde además de la rejilla se situaron las condiciones de fronteras, las porosidades de las celdas cerradas y los lugares que constituían las fuentes y los sumideros de cada sitio. De inmediato se expresa la distribución de la información plasmada en estos grupos, desempeño que hace del software una herramienta efectiva en la descripción del escenario (Calzada y Marín, 2002).

Grupo 1: Título de la ejecución y otros preliminares.

Grupo 2: Dependencia del flujo con el tiempo.

Grupo 3: Especificación de la rejilla en la dirección x.

Grupo 4: Especificación de la rejilla en la dirección y.

Grupo 5: Especificación de la rejilla en la dirección z.

Grupo 6: BFC o distorsión de la rejilla.

Grupo 7: Variables almacenadas, resueltas y almacenadas.

Grupo 8: Términos en las ecuaciones diferenciales.

Grupo 9: Propiedades del medio.

Grupo 10: Proceso de transferencia-interfase y propiedades.

Grupo 11: Inicialización de variables y campo de porosidades.

Grupo 12: Ajustes de difusión y convección.

Grupo 13: Condiciones de frontera y fuentes especiales.

Grupo 14: Presiones Downstream para modo parabólico (PARAB=T).

Grupo 15: Terminación de Barrido.

Grupo 16: Terminación de Iteraciones.

Grupo 17: Dispositivos interrelacionados.

Grupo 18: Límites en variables o sus incrementos.

Grupo 19: Datos comunicados por Satellite a Ground.

Grupo 20: Resultados preliminares.

Grupo 21: Resultados de las variables.

Grupo 22: Resultados de los valores Spot.

Grupo 23: Resultados de los campos y control de pteo.

Grupo 24: Vaciado para recomenzar.

A continuación presentamos las ideas que permitieron alcanzar el resultado final con sus correspondientes explicaciones físicas.

III.2. Consideraciones del modelo utilizado

El sistema utilizado fue el sistema de coordenadas cartesianas por su sencillez y ajuste a las características del área geográfica. Como primera aproximación, el dominio se fijó de la siguiente manera:

- El eje z está dispuesto en la vertical y crece hacia arriba con cinco celdas equidistantes para toda el área, es decir, que nos ajustamos a una bahía de fondo plano. Esta característica la imponemos apoyándonos en la oración marcada en negritas ubicada en las características físico-geográficas de la zona. En nuestro país se ha trabajado con esta característica (Núñez, Tejera y Pérez, 1999).
- El plano xy se rotó un ángulo θ , partiendo del sistema de coordenadas geográficas. El eje x aumenta al alejarse perpendicularmente a la península de Hicacos y el eje y lo hace al aproximarse a la punta de Morlás (en la misma península).

Las propiedades del fluido de trabajo (agua de mar) se manejaron de modo ideal, encontrándose entre ellas la homogeneidad e incompresibilidad del agua. La vis-

cosidad absoluta tomada fue de $\mu = 10^{-3} \frac{Ns}{m^2}$, el valor

de la densidad de $\rho = 1025 \frac{Kg}{m^3}$, en presencia de una

gravedad de $g = 9,78 \frac{NKg}{m^2}$.

Como se mencionó con anterioridad, las dos primeras características son bastante aceptables para las costas de nuestro escenario. Por ser el movimiento en el eje z despreciable comparado con el horizontal, tomaremos como aproximación que la velocidad en el eje vertical (w) sea nula.

De modo preliminar el fluido no dispondrá de una superficie superior libre, sino que se moverá con un «techo» fijo sin rozamiento. En cambio, el fondo tendrá una rugosidad que dependerá inversamente de la distancia a él, es decir a $1/z$.

Así con estas características se impone el siguiente sistema de ecuaciones que gobernará el movimiento y que es el predeterminado por PHOENICS.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \eta \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right] + B_x + V_x \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \eta \left[\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right] + B_y + V_y \quad (3)$$

$$0 \approx -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g \quad (4)$$

Donde B_x y B_y son fuerzas presentes en las direcciones coordenadas y V_x y V_y son términos viscosos adicionales a los segundos sumandos de los miembros derechos en las ecuaciones 2 y 3.

III.3. Aplicación del método de los análogos

Hemos nombrado método de los análogos al utilizado para alcanzar, por medio de escenarios análogos ficticios, un campo de corrientes marinas con características muy cercanas a la realidad.

Es conocido por muchos que la existencia de un flujo en una bahía (llenado) tiene por consecuencia el ascenso en el nivel del mar, cumpliendo así la Ley de la Conservación de la Masa. Sin embargo, nuestro modelo presenta un «techo» en el nivel medio del mar ($z = h$), imposibilitando la ocurrencia de este hecho. Veremos inmediatamente como podemos hacer un pequeño cambio a nuestro escenario para mantener un resultado invariable.

Se procesaron un cúmulo de datos, cuyo resultado fue útil para obtener la información de los valores promedios de la fuerza y dirección de la corriente marina en el Canal de la Buba, en la franja S al Cayo Diana y por el Canal de Paso Malo (mientras este último se mantuvo abierto). El campo de velocidades a obtener dispondrá de esos mismos valores en los puntos medidos (distribuidos en varias profundidades), fijándolos como condiciones de frontera. Luego, se asignó una pequeña salida del flujo, a través de la línea de costa, imponiendo siempre que sea cumplida la Ley de Continuidad. En el caso del refluo (vaciado de la bahía) se considerará una entrada al dominio por medio de la misma línea costera con valores de salida prefijados en las celdas abiertas.

Se alcanzarán algunos de los estados por los que transita el flujo en la bahía, obteniendo del modo explicado, sus estados análogos. Se realizará además, un análisis de cuan representativo para la dinámica de las aguas del lugar puede ser el cierre del canal de Paso Malo,

pues se tienen mediciones antes y después del cambio. El procedimiento numérico se realizó con el método de volúmenes finitos, con una exactitud de segundo orden.

III.3.1. Condiciones de los escenarios construidos

Ahora describiremos la construcción de cada escenario en el fichero de entrada Q1, cuyas propiedades fueron tomadas para un día promedio en la zona de estudio. Como aclaración se puede decir que cada escenario responde a un caso (corrida de los procesadores) elaborado de manera previa. No existe un orden de aparición de los casos, pues se eligieron aquellos que se consideraron más representativos.

A). CONDICIONES DEL PRIMER ESCENARIO (existente antes de 1992).

Fue un caso común ocurrido antes del cierre de Paso Malo generalmente de 10:00 a.m. a 01:00 p.m., en el que se realizaron varias mediciones.

- Reflujo (vaciante) de la Bahía.
- Viento del N con velocidad de traslación de 5 m/s (notar que para el sistema sin rotación de sus de coordenadas el viento partiría del NE, que es el dato que se dispone).
- Salida de flujo por Canal de Buba, por la parte de la derecha de Cayo Diana (con presión cero), por el canal comprendido entre Cayo Buba y Punta Morlás y por el Canal de Paso Malo.
- Entrada al dominio por el río San Antón (con un flujo 3L), por otros afluentes de menor caudal (con flujos L y 2L) y por la línea de costa (con flujo L/2).

B). CONDICIONES DEL SEGUNDO ESCENARIO (existente después de 1992).

Es un caso que se repite con alta frecuencia, luego de cerrado el canal de Paso Malo, cercano al mismo horario, en el que se poseen mediciones muy bien definidas.

- Reflujo de la Bahía.
- Viento del N con velocidad de traslación de 5 m/s.
- Salida de flujo por Canal de Buba, por la parte de la derecha de Cayo Diana (con presión cero) y por el canal comprendido entre Cayo Buba y Punta Morlás.
- Entrada al dominio por el río San Antón (con un flujo 3L), por otros afluentes de menor caudal (con flujos L y 2L) y por la línea de costa (con flujo L/2).

C). CONDICIONES DEL TERCER ESCENARIO (existente antes de 1992).

Este escenario tuvo lugar antes del cierre del canal, en un horario de 04:00 p.m. a 07:00 p.m.

- Flujo (llenante) de la Bahía.
- Viento del N con velocidad de traslación de 5 m/s.

- Entrada al dominio por el río San Antón (con un flujo 3L) y por otros afluentes de menor caudal (con flujos L y 2L) todos con un gasto idéntico al presentado en el primer escenario. También existió influjo por el canal de la Buba, por la parte de la derecha de Cayo Diana, por el canal comprendido entre cayos Buba y Punta Morlás y por el canal de Paso Malo.
- Salida de flujo por la línea costera (con presión cero).

D) CARACTERISTICAS COMUNES

Los escenarios presentan propiedades en común, entre las que resaltan:

- Líneas de contorno que conforman los distintos cayos y la línea costera.
- La influencia del fondo y del resto de las fronteras sobre el fluido.
- El caudal de los ríos.
- Los cayos que desaparecen en ocasión de la marea alta fueron colocados en idénticos lugares con una porosidad fija.
- Cuando existe presión cero en alguna entrada o salida, significa que el flujo en ese lugar es el resultado de la ley de la conservación de la masa, sin alterar las propiedades del medio.

Los datos almacenados indicaron que el flujo del paso ubicado a la derecha de Cayo Diana era tres veces menor que el del Canal de Buba, siendo conocido este último con detalles. Además, se conocen las relaciones entre los flujos de los ríos y de la línea costera, cuya razón se realiza por mediación de la variable L. De todos modos con estas características no se debe realizar la corrida, pues no tendríamos en cuenta algunas especificidades del campo de corrientes y además no contamos con mediciones puntuales cerca de la red fluvial. Para ello realizamos una corrida previa del software, imponiendo como condiciones de frontera, en la salida de la bahía, los valores de corrientes promedios reales en el Canal de Buba y la tercera parte de ellos en la parte restante de la boca, siempre garantizando que se cumpla la conservación de la masa.

De este modo obtuvimos el valor de L y por consiguiente los valores de los flujos de los ríos y del flujo virtual de la línea costera. Posteriormente estos resultados los utilizamos colocando presión cero en la parte derecha del Cayo Diana y ahora las condiciones de frontera indicarían los valores calculados, alcanzando de esta forma una solución más real.

IV. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En el análisis de los resultados obtenidos en cada una de las corridas es pertinente aclarar que en todos los casos no existe diferencia marcada entre planos sucesivos a lo largo del eje vertical, por ello solamente haremos mención a los planos en $z = 5$ y $z = 1$ y así evitar las reiteraciones. Para hacer más práctica la referencia a los cayos del interior de la bahía, llamaremos cayos 1, 2 y 3 a los enumerados en la figura 1.

A). RESULTADO DEL PRIMER ESCENARIO

Para $z = 5$ (figura 3). Campo vectorial de la velocidad en superficie.

- Las mayores velocidades se encuentran en el canal de Buba muy cercanas a 31 cm/s, a la derecha del cayo Diana (que antes de la rotación de los ejes sería la porción Sur) se registran velocidades de 7 a 11 cm/s (con los mayores valores en la cercanía de la costa) y en el canal de Paso Malo 9 cm/s.
- Las velocidades en el interior de la bahía oscilan de 2 a 7 cm/s.
- Existe convergencia positiva de las líneas de flujo en las inmediaciones del canal de Buba y después del cruce del fluido por los cayos 1 y 2; la divergencia ocurre en la parte anterior de dichos cayos más el cayo 3. En el resto del área los valores no son marcados.
- Una circulación positiva yace próxima al canal de Paso Malo.

Para $z = 1$ (Campo vectorial de la velocidad muy cercano al fondo marino).

- El patrón presenta valores inferiores de velocidad, respecto al plano de superficie, en todo el dominio.
- La convergencia en el canal de Buba no es notable.
- La situación en el resto del dominio es muy similar a $z = 5$.

B). RESULTADO DEL SEGUNDO ESCENARIO

Para $z = 5$ (figura 4). Campo vectorial de la velocidad en superficie.

- Existe convergencia positiva en las inmediaciones del canal de Buba y después del cruce del fluido por los cayos 1 y 2; la divergencia yace en la parte anterior de dichos cayos más el cayo 3. En el resto del área los valores no son marcados.
- No existen vórtices con circulación marcada.

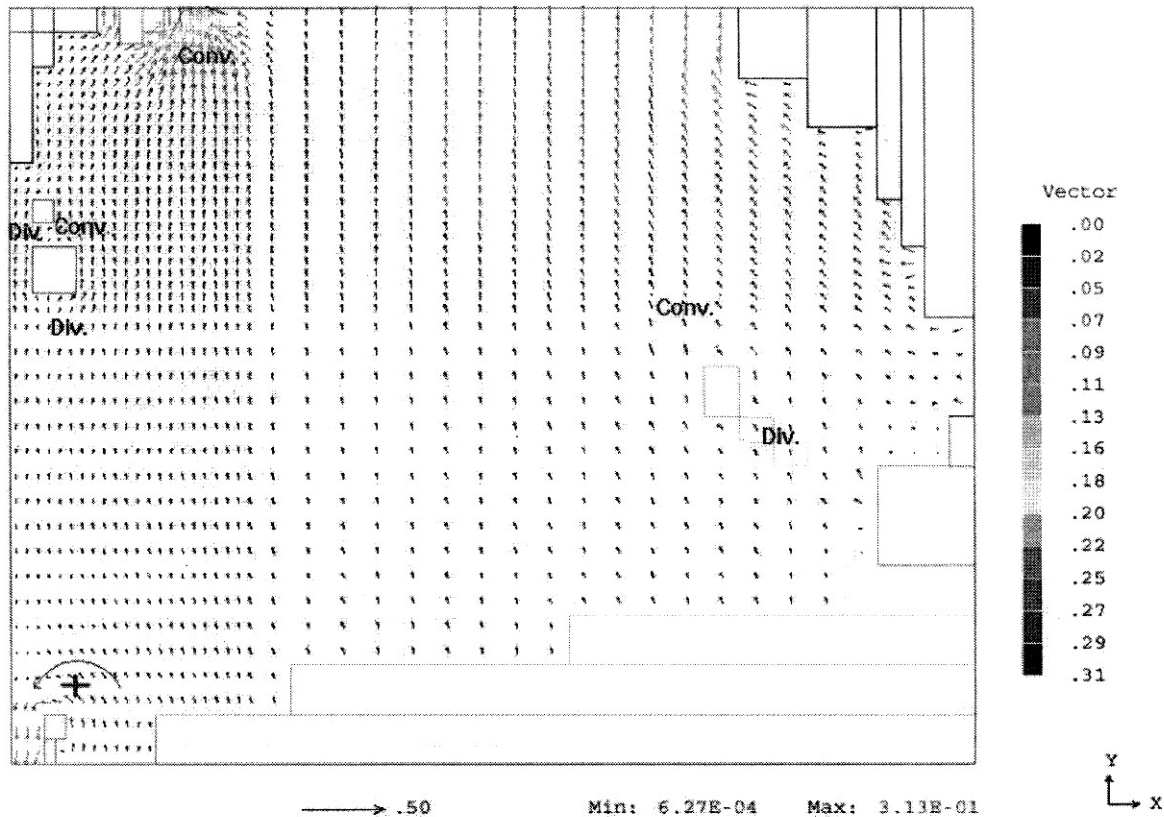


Fig. 3. - Circulación para la superficie del flujo de la bahía de Cárdenas (con Paso Malo abierto).

Para $z = 1$ (Campo vectorial de la velocidad muy cercano al fondo marino).

- El patrón presenta valores inferiores de velocidad, respecto al plano de superficie, en todo el dominio.
- La convergencia en el canal de Buba puede notarse.
- La situación en el resto del dominio es muy similar a $z = 5$ de este escenario.

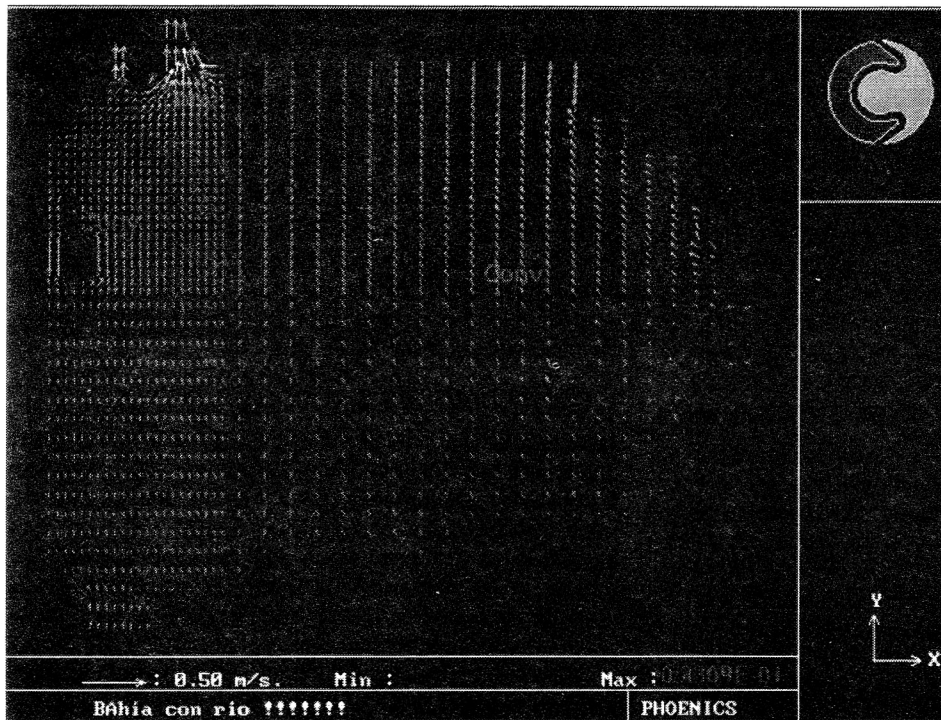


Fig. 4. - Circulación para la superficie del flujo de la bahía de Cárdenas (con Paso Malo cerrado).

C). RESULTADO DEL TERCER ESCENARIO

Para $z = 5$ (Figura 5). Campo vectorial de la velocidad en superficie.

- Los valores más altos de velocidad siguen teniendo lugar en el canal de Buba con 29 cm/s. En el canal de Paso Malo son de 13 cm/s y a la derecha de cayo Diana son de 8 cm/s.
- En el interior de la bahía oscilan de 6 a 8 cm/s, salvo algunos puntos aislados donde pueden llegar a 11 cm/s.
- La convergencia negativa se ubica cuando el flujo abandona el canal de Buba y antes de alcanzar a los cayos 1 y 3. La convergencia positiva marcada se encuentra al abandonar los cayos 1, 2 y 3.
- Una pequeña circulación negativa bordea las inmediaciones del canal Paso Malo.

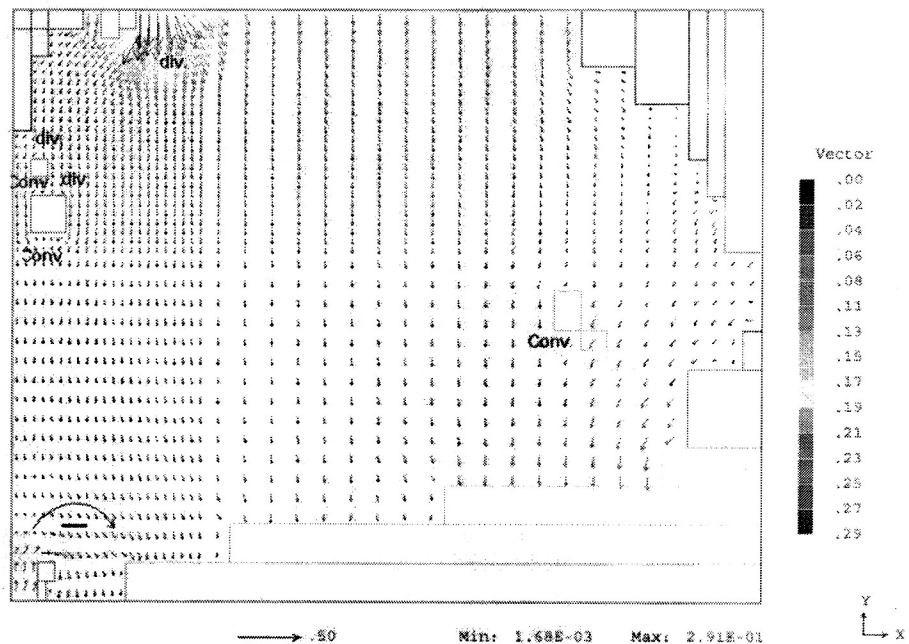


Fig. 5. - Circulación para la superficie del refluo de la bahía de Cárdenas (con Paso Malo abierto).

Para $z = 1$ (Campo vectorial de la velocidad muy cercano al fondo).

A excepción de los módulos de los vectores (menores en todo el dominio) y la ausencia de divergencia en el canal de Buba se mantiene el campo vectorial es muy parecido al de $z = 5$ de este escenario

Como puede notarse las figuras 3 y 4 son muy parecidas, con una pequeña diferencia en los valores modulares de las velocidades y en la ausencia en el segundo de vorticidad en las cercanías de Paso Malo. Por este motivo la diferencia en la circulación que engendró el cierre del canal en el campo es puramente local.

Para evidenciar la gran similitud que existe entre los resultados obtenidos en las corridas de PHOENICS y los medidos por equipos de especialistas (Coastal Meteorology, 1993), se puede comparar las figura 4 y 6, cuyo análisis corresponde al reflujo de la bahía, después del cierre del canal. Es notorio destacar la diferencia en la resolución espacial del análisis, siendo superior en el primer caso (corrida del software), condición que puede mejorarse en trabajos posteriores.

En cuanto a las propiedades de los niveles $z = 1$ y $z = 5$, las mayores diferencias, como se mencionó, están dirigidas a los valores modulares de las velocidades. El plano horizontal de menor altura ($z = 1$) presenta valores no nulos, pues la velocidad es calculada en el centro de los lados de las celdas, a cierta distancia del fondo marino.

Referido al comentario anterior de la corrida previa para mejorar los resultados, es prudente destacar la diferencia de los valores puntuales a lo largo de la línea de intercambio situada a la derecha de Cayo Diana (figuras 3 y 4) situación que afirma nuestra tesis.

Los resultados de cada uno de los grupos de uno de los ficheros Q1 y los valores de cada variable dependiente son obtenidos para cada celda en forma de tabla por otro fichero que resulta de cada corrida. Este último tiene mucha utilidad por portar valores instantáneos, puntuales y de la precisión deseada.

Otra gran ventaja que posee PHOENICS es la de poder escoger el número de iteraciones a efectuar en cada corrida, ello posibilita mejorar, en parte, la calidad de los resultados. Los errores presentes en cada corrida son reducidos a valores bien pequeños, debido a las condiciones del dominio.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Valorando el modelo físico y el sistema de ecuaciones utilizado por PHOENICS, el trabajo sugiere el empleo del método de los análogos con buenos resultados en los cálculos.
2. Una de las ventajas del método hidrodinámico consiste en poder conocer los valores de las variables dependientes en cualquier punto del dominio y en caso de ser no estacionario el régimen empleado podrán obtenerse en función del tiempo. El software utilizado refleja estas facilidades.
3. La exactitud del modelo hidrodinámico será mayor mientras mejor se conciba la geografía de la zona de estudio, cuando el sistema de ecuaciones esté compuesto por los miembros más representativos en el lugar y cuando se utilicen elevados órdenes de exactitud en el procesamiento numérico.

4. Es posible obtener el campo vectorial de las corrientes marinas para cualquier estado del ciclo de marea en la Bahía de Cárdenas por medio de la utilización de los procesadores de PHOENICS. El patrón de velocidad en superficie es mostrado por las figuras 3, 4 y 5.

5. El análisis hidrodinámico expresado por los gráficos que responden al escenario anterior y posterior del cierre del canal de Paso Malo, refleja que la dinámica de las aguas de la bahía no ha experimentado variaciones de consideración, tal y como se había concluido en trabajos anteriores (García Galocha, 1992).

6. El análisis hidrodinámico expresado por los gráficos que responden al escenario anterior y posterior del cierre del canal de Paso Malo, refleja que la dinámica de las aguas de la bahía no ha experimentado variaciones de consideración, tal y como se había concluido en trabajos anteriores (García Galocha, 1992).

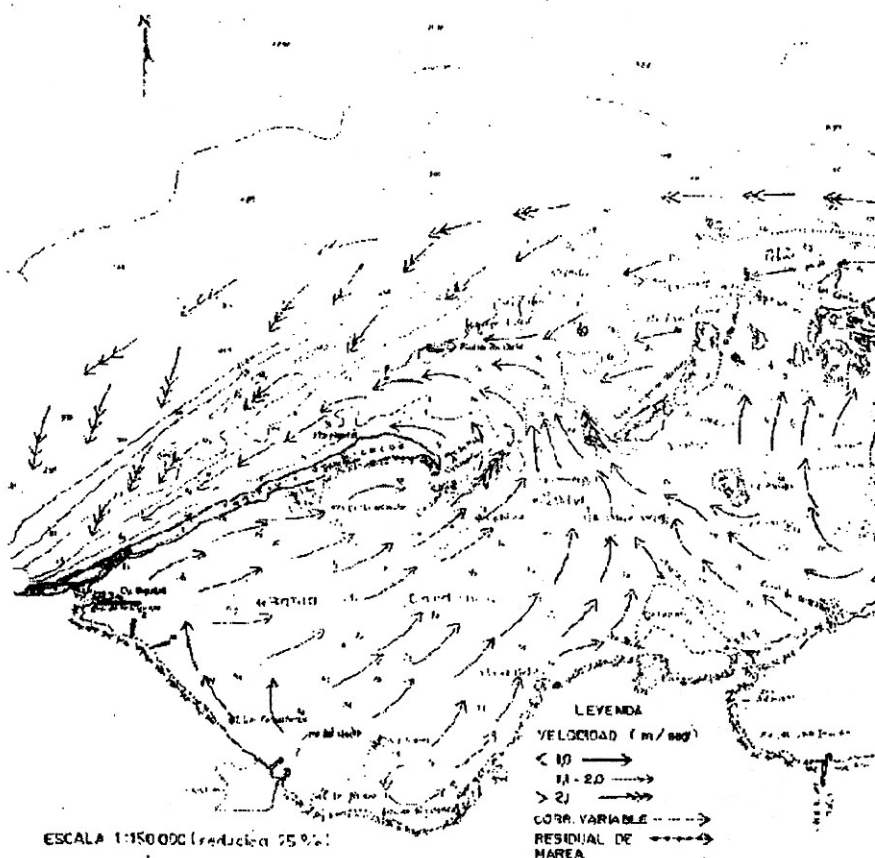


Fig. 6. - Curso diario de las corrientes superficiales. Caso: Marea en Vaciente. Viento: ENE a NNE. Hora: 10:00 a 13:00 H. Local.

Luego de un estudio y balance entre la exactitud de cada modelo hidrodinámico y la complejidad para ponerlo en práctica se confirmó la posibilidad de mejorar los resultados alcanzados, si se inserta el sistema de ecuaciones hidrodinámicas de Saint-Venant (García y Kahawita, 1986) al software utilizado (PHOENICS). Por ello se recomienda seguir el empleo de la técnica utilizada con estos pequeños cambios. Del mismo modo es aconsejable trabajar con superficie superior libre en aras de mejorar la realidad de los escenarios.

AGRADECIMIENTOS

Un especial agradecimiento al amigo Reinaldo García por prestarnos ayuda continua con la mejor disposición. Al compañero Carlos García que con su experiencia aportó sugerencias importantes para que el modelo se acercase en mejor medida a la realidad y al colega René García Galocha y a su grupo de trabajo. Finalmente agradecemos la colaboración de varios especialistas del Grupo Empresarial de Geocuba, quienes conjuntamente a Alejandro Morales aportaron datos necesarios para nuestro proceder. A todos les ofrecemos muchas gracias y el deseo de que nuestro trabajo conjunto e inmediato tome auge rompiendo las barreras institucionales.

BIBLIOGRAFÍA

Calzada-Estrada, A. y Marín-Antuña, J.; 2002: Metodología Para el Tratamiento de la Modelación de De-

rramas de Petróleo en el Mar, 1er Seminario Taller «La Física en la Meteorología», Habana, 22 pp.

Costal Meteoservice, 1993: Comportamiento de las variables Oceanográficas y Meteorológicas en la Bahía de Cárdenas y sus Alrededores, Reporte No. 064, 54 pp.

García-Martínez, Reinaldo and Kahawita, R. A.; 1986: Numerical Solution of the Saint-Venant Equation with the MacCORMAC Finite-Difference Scheme; International Journal for Numerical Methods in Fluids; Vol. 6; 259-274 pp.

García-Galocha, René; 1992: Dinámica de las Aguas de la Bahía de Cárdenas; Revista del Instituto de Investigaciones del Transporte; 18-20 pp.

Instituto Cubano de Hidrografía, 1989, Derrotero de las costas de Cuba, Poligráfico de Guantánamo, Cuba, Tomo II, 379 pp.

Núñez, Lisbet; Tejera, Manuel y Pérez, Ángel; 1999: Dos Modelos Numéricos Para la Solución de las Ecuaciones de Aguas Someras en el Interior de una Bahía; Revista Cubana de Física; Vol. 16, No. 2; 85-92 pp.

PHOENICS producer; 1987; POLIS (programa de auto-instrucción de PHOENICS versión 1.4).

Palabras Claves:

Corrientes marinas - cálculo hidrodinámico - Bahía de Cárdenas - Marine current - Hydrodynamic calculus - Cárdenas Bay.