

Artículo publicado en el Repositorio Institucional del IMTA

<i>Título</i>	Estudio numérico de estructuras turbulentas con un modelo k- ϵ en 3D de un flujo sobre un obstáculo cúbico.
<i>Autor / Adscripción</i>	Cecia Millán Barrera Hermilo Ramírez León Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
<i>Publicación</i>	Ingeniería Hidráulica en México, 16(4): 53-62
<i>Fecha de publicación</i>	2001
<i>Resumen</i>	Se reportan los resultados obtenidos, mediante simulaciones numéricas, del movimiento del flujo en un canal con superficie libre y un obstáculo en el fondo. El sistema de ecuaciones utilizado resuelve las ecuaciones de Navier-Stokes en tres dimensiones, al cual se le acopló un modelo de turbulencia tipo k- ϵ . La solución se obtiene numéricamente utilizando un esquema en diferencias finitas para la evaluación temporal de las variables y una celda escalonada para la evaluación espacial de las mismas. El objetivo del modelo es estudiar los patrones de flujo y las estructuras turbulentas que se generan debido a la presencia del obstáculo.
<i>Identificador</i>	http://hdl.handle.net/123456789/725

Estudio numérico de estructuras turbulentas con un modelo κ - ϵ en 3D de un flujo sobre un obstáculo cúbico

Cecia Millán Barrera y Hermilo Ramírez León

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

Se reportan los resultados obtenidos, mediante simulaciones numéricas, del movimiento del flujo en un canal con superficie libre y un obstáculo en el fondo. El sistema de ecuaciones utilizado resuelve las ecuaciones de Navier-Stokes en tres dimensiones, al cual se le acopló un modelo de turbulencia tipo κ - ϵ . La solución se obtiene numéricamente utilizando un esquema en diferencias finitas para la evaluación temporal de las variables y una celda escalonada para la evaluación espacial de las mismas. El objetivo del modelo es estudiar los patrones de flujo y las estructuras turbulentas que se generan debido a la presencia del obstáculo. El estudio se realizó para un flujo en tres dimensiones. Los resultados son satisfactorios, ya que muestran concordancia con otros estudios numéricos y experimentales encontrados en la literatura.

Palabras clave: flujo turbulento, modelación de la turbulencia, modelos de turbulencia, descomposición de Reynolds, esquemas de diferencias finitas, celda escalonada, estructuras turbulentas.

Introducción

La mayor parte de los escurrimientos que se presentan en la naturaleza y en las aplicaciones de la ingeniería se encuentran en régimen turbulento. Por ello, es relevante el interés que tiene dentro de la mecánica de fluidos el estudio y la caracterización de los procesos que inducen la turbulencia, así como la manera de representarlos. La formación de estructuras o formas de fondo generadas por la interacción de este último y la corriente en canales naturales o de laboratorio ha sido siempre un tema de interés para los investigadores. La manera de cómo el agua en movimiento interactúa con el sedimento en dichos canales es fascinante y de suma importancia para la ingeniería de ríos y costas. A partir de la forma en que se muevan los sedimentos, el estudioso puede poner su atención en otras áreas o temas de interés, como la morfología de los ríos y de las costas, y el diseño de pilas de puentes o de estructuras que se construyan sobre estos sistemas dinámicos. Los factores que influyen en la formación de las estructuras de fondo son diversos: el régimen del flujo, la relación ancho-profundidad, las propiedades físicas y químicas de los materiales en suspensión y en el fondo, los efectos de fricción sobre éste y el contorno de las paredes del dominio físico.

Otro concepto importante es el flujo secundario; los fluidos con poca cantidad de movimiento son transportados precisamente por el flujo secundario desde la orilla hacia el centro y, por el contrario, los fluidos con mucha cantidad de movimiento son trasladados por este movimiento desde la superficie hacia el fondo. Karthe y Leutheusser (1970), Knight *et al.* (1984), y Nezu y Rodi (1985) sugieren, además, que las corrientes secundarias causan las variaciones ondulatorias de las distribuciones del esfuerzo cortante de fondo en la dirección transversal. La influencia de esas corrientes, las estructuras que de ellas se generen y el dominio que ejerzan sobre las estructuras o formas de fondo dependerá de la relación de aspecto definida entre el ancho y la profundidad o tirante de los ríos o canales.

La necesidad de conocer la evolución de tales estructuras llevó a profundizar y a modificar los procedimientos y métodos de análisis: en los años setenta, por ejemplo, se comenzó a manejar el concepto de estructuras coherentes, que son manifestaciones de flujo cercano a la pared; el estudio de tales estructuras ha estado respaldado por trabajos experimentales y numéricos, y han contribuido al entendimiento de cómo un fondo, originalmente plano, puede transformarse, por la acción de un flujo, en formas tan variadas y com-

plejas como los rizos, dunas o antidunas (Nezu y Nagawa, 1993).

Aunque estos conceptos constituyen un aporte importante al conocimiento, aún no han tenido una contribución importante a la ingeniería práctica, debido a que las mediciones experimentales *in situ* son muy escasas y difíciles de llevar a cabo por la dificultad que implican, además de que se necesitan métodos numéricos y mallas refinadas que requieren el uso de súper-computadoras y tiempo de cómputo excesivos; estas técnicas aun hoy en día sólo permiten estudios en dominios simplificados.

Los procesos de transporte turbulento en canales tienen una fuerte influencia sobre la distribución de velocidad, los esfuerzos cortantes del fondo y la pérdida de energía, el transporte de sedimentos, la propagación de contaminantes, el arrastre de aire, etcétera. Así pues, el entendimiento y predicción del fenómeno de la turbulencia en canales abiertos está ampliamente investigado, pero no comprendido en su totalidad. El presente trabajo está encaminado a estudiar las estructuras que se generan alrededor de un obstáculo ubicado en el fondo de un canal. Los resultados de este estudio conducirán a una visión particular de los patrones de flujo alrededor de un obstáculo sobre el fondo de un canal con flujo turbulento totalmente desarrollado, con datos cuantitativos que describen al campo de flujo medio y fluctuante; también pretende contribuir directamente al entendimiento de los mecanismos de flujo para geometrías complejas bi y tridimensionales. Para lograr lo anterior, se incorporó al programa *QUETZAL/3D*, desarrollado en el IMTA, un modelo de turbulencia de primer orden y dos ecuaciones que permiten simular la evolución del flujo como consecuencia de los gradientes de deformación y de resistencia al cambio.

Modelo físico-matemático

Las leyes de la dinámica de fluidos están bien establecidas y pueden deducirse de varias maneras. El caso más habitual es suponer que el comportamiento de un sistema físico está completamente determinado por las leyes de conservación de las cuales se deducen las ecuaciones para el estudio de las estructuras turbulentas, divididas en ecuaciones medias y ecuaciones turbulentas, como se describe a continuación.

Ecuaciones medias

Ecuación de continuidad

$$\frac{\partial \bar{U}_j}{\partial x_j} = 0 \quad (1)$$

Ecuación para la velocidad

$$\frac{\partial \bar{U}_i}{\partial t} + \bar{U}_j \frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho_N} \frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} + g_i + \nu_N \frac{\partial^2 \bar{U}_i}{\partial x_j^2} - \frac{\partial (\bar{U}_i \bar{U}_j)}{\partial x_j} \quad (2)$$

El término $\bar{U}_i \bar{U}_j$ introduce el problema de no poder completar las ecuaciones 1 y 2, y debe evaluarse con formulaciones suplementarias llamadas comúnmente *modelos de cerradura*, que conduzcan a un sistema de ecuaciones que pueda resolverse mediante algún procedimiento numérico. En este trabajo se incluye un *modelo de primer orden de dos ecuaciones* (κ - ϵ), mismo que se describe a continuación.

Modelo de turbulencia κ - ϵ

En este modelo, el tensor de Reynolds se esquematiza de manera análoga a la expresión de esfuerzos moleculares, de tal forma que:

$$-\bar{U}_i \bar{U}_j = \nu_T \left(\frac{\partial \bar{U}_j}{\partial x_i} - \frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_j} \right) - \frac{2}{3} \delta_{ij} \kappa \quad (3)$$

en la que ν_T es el coeficiente de viscosidad turbulenta en función del espacio y del tiempo, evaluado a su vez con:

$$\nu_T = C_\mu \frac{\kappa^2}{\epsilon} \quad (4)$$

en donde κ es la *energía cinética de la turbulencia* y ϵ es su *disipación*, evaluadas, respectivamente, con las siguientes ecuaciones de transporte:

$$\frac{\partial \kappa}{\partial t} + \bar{U}_j \frac{\partial \kappa}{\partial x_j} = P + B + \epsilon + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\nu_T}{\sigma_\kappa} \frac{\partial \kappa}{\partial x_j} \right) \quad (5)$$

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial t} + U_j \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} = C_{\epsilon_1} \frac{\epsilon}{\kappa} (P + C_{\epsilon_3} B) - C_{\epsilon_2} \frac{\epsilon^2}{\kappa} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\nu_T}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right) \quad (6)$$

donde P es el término de producción y representa el producto de los esfuerzos de Reynolds por los gradientes de velocidad media:

$$P = \nu_T \left(\frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_j} - \frac{\partial \bar{U}_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_j} \quad (7)$$

Por otra parte, B es un término que incluye los efectos de flotación, el cual se puede evaluar como:

$$B = \beta g_m \frac{\nu_T}{Pr_T} \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_m} \quad (8)$$

Sin embargo, en este trabajo el dominio de aplicación es local y no se consideran de importancia los cambios de temperatura, por lo que la influencia de dicho término resulta despreciable.

En relación con los coeficientes que quedan por definir en las ecuaciones 5 y 6, su valor se ha asignado como sigue (Rodi, 1984): el coeficiente $C_{\epsilon 2}$ puede determinarse directamente de la medición de la tasa de decaimiento de κ dentro de una malla; se ha encontrado que su valor se encuentra dentro del rango de 1.8 a 2.0. Para flujos con capa límite, Bradshaw *et al.* (1967) recomiendan el valor de C_{μ} igual 0.09. El valor de $C_{1\epsilon}$ se fija una vez que se eligieron los valores para las otras variables, ya que éste depende de $C_{\epsilon 2}$, C_{μ} y σ_{ϵ} . Las constantes de difusión σ_{κ} y σ_{ϵ} se consideraron como 1.0 y 1.3, respectivamente.

Método numérico de solución

El sistema de ecuaciones estadístico definido anteriormente se resuelve por vía numérica, lo cual involucra otro tipo de consideraciones, como la discretización espacial y temporal de las ecuaciones. En el presente trabajo se utiliza un método de diferencias finitas para discretizar las ecuaciones en el tiempo; para la discretización espacial de las variables se utiliza una celda escalonada; para resolver la ecuación de continuidad se usa el método de compresibilidad artificial que consiste en relajar, en cada intervalo de tiempo, presiones y velocidades hasta que se garantice la conservación de la masa, celda por celda, en todo el dominio de estudio (Peyret y Taylor, 1983). El sistema de ecuaciones del modelo físico-matemático es un sistema parabólico en el tiempo e hiperbólico en el espacio.

Estudio de estructuras turbulentas alrededor de un obstáculo en el fondo de un canal

La ilustración 1 muestra las características del dominio de estudio. La posición del obstáculo en el canal está exactamente en el centro del fondo del dominio aquí empleado.

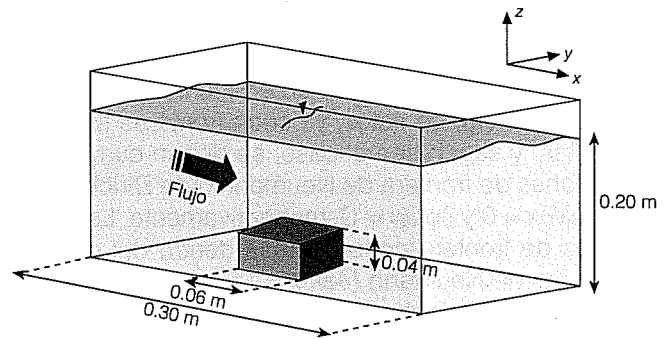
Condiciones iniciales y de frontera

El número de Reynolds es aproximadamente 14,000, por lo que este estudio considera una capa límite turbulenta desarrollada. La presión en el fondo del canal se consideró igual a la presión hidrostática:

$$P(z) = \gamma \cdot h \quad (9)$$

En el caso del perfil de velocidad de entrada al canal se utilizó la ley logarítmica, que considera los efectos

Ilustración 1. Dominio físico del estudio.

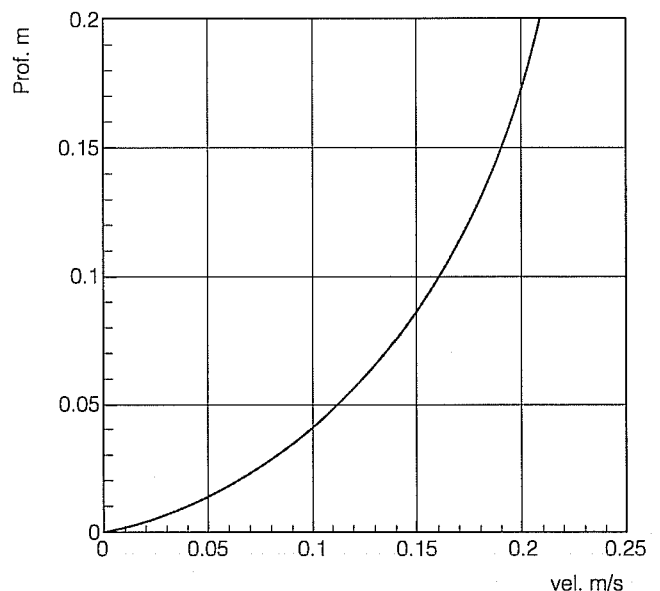


de pared sobre el perfil de flujo. Dicha ley gobierna la región cercana a ésta, es decir, la región en la cual las escalas características de longitud y velocidad son y/U^* y U^* , respectivamente. La ley logarítmica se escribe como:

$$U^+ = \frac{1}{\kappa} \ln(y^+) + A \quad (10)$$

donde A es una constante de integración, cuyo valor es 5.287, y el valor de la constante de Von Karman (κ) se tomó igual a 0.412 (Nezu y Nakagawa, 1993). Una consideración importante es que las constantes κ y de integración A en la ley logarítmica deberán ser determinadas de datos experimentales que pertenezcan

Ilustración 2. Perfil de distribución de velocidades inicial.



solamente a la región del flujo $y/h < 0.2$, en donde y es el tirante de agua y h es la altura total del canal (ilustración 2).

Las condiciones de frontera se introducen en celdas ficticias que se encuentran en los bordes del dominio de estudio; en éstos, ya sean fronteras físicas o impuestas, y según sea el caso, se deben cumplir las condiciones de frontera de Neumann o de Dirichlet, es decir, $\partial\phi/\partial x = 0$ y $\partial\phi/\partial x = C$, respectivamente. Las condiciones de frontera consideradas dentro del programa son las de Neumann ($\partial\phi/\partial x = 0$) para las fronteras libres y las de Dirichlet ($\partial\phi/\partial x = C$) para las fronteras de entrada y alrededor del obstáculo.

Ilustración 3. Contornos de la velocidad media U , en m/s.

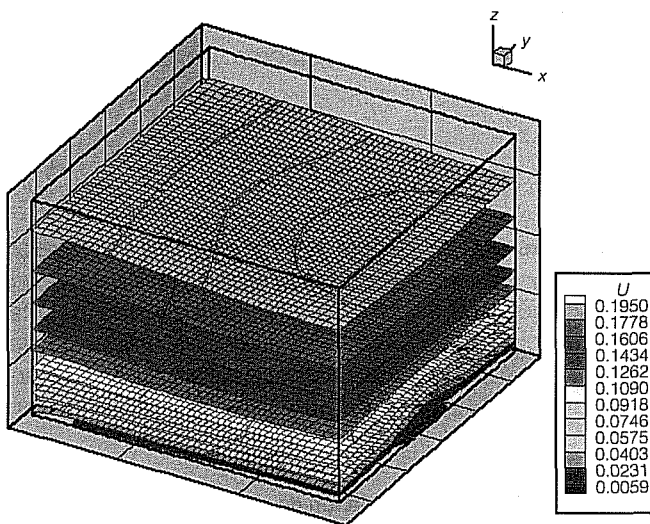


Ilustración 4. Plano x-z del contorno de velocidad media U , en m/s.

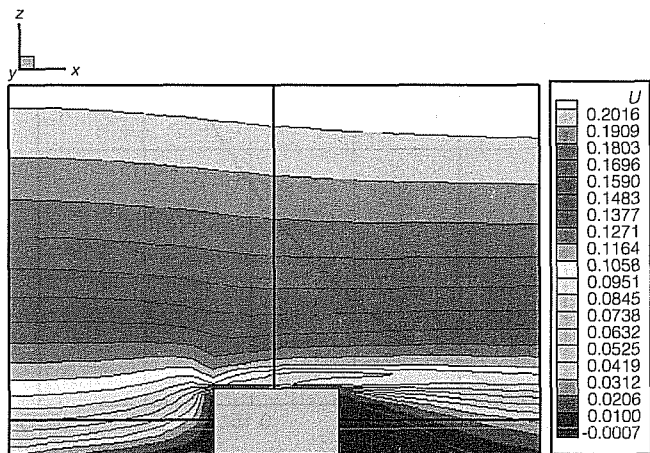


Ilustración 5. Velocidad media a lo largo del canal, obtenida por Franke y Rodi (1992).

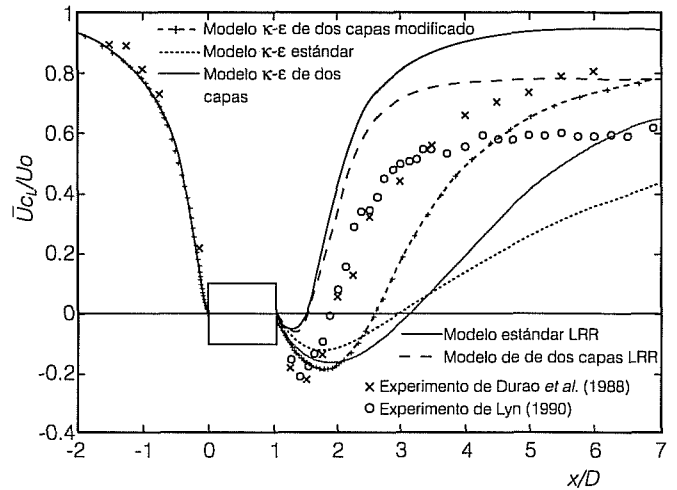
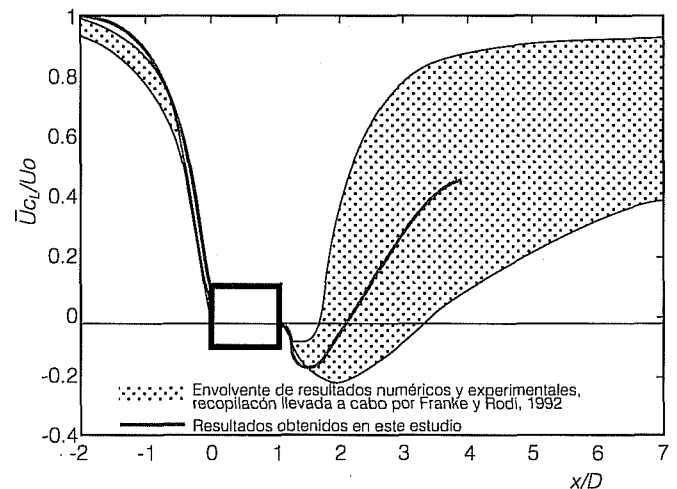


Ilustración 6. Comparación entre resultados obtenidos en este estudio y el trabajo de Franke y Rodi (1992).



Análisis de resultados

En cuanto a los resultados del flujo alrededor del obstáculo, se puede apreciar en las ilustraciones 3 y 4, y de la 6 a la 13, la simetría de las estructuras turbulentas desarrolladas en el flujo, lo anterior está en correspondencia con el dominio físico del problema, ya que el obstáculo está justo en el centro del dominio en las direcciones x e y , por lo que la simetría resultante es una manera de comprobar que el modelo reproduce adecuadamente la deformación del flujo producida por el obstáculo. En Millán (1998) puede consultarse una discusión más amplia. Mason y Morton (1986)

Ilustración 7. Velocidad transversal V , en m/s.

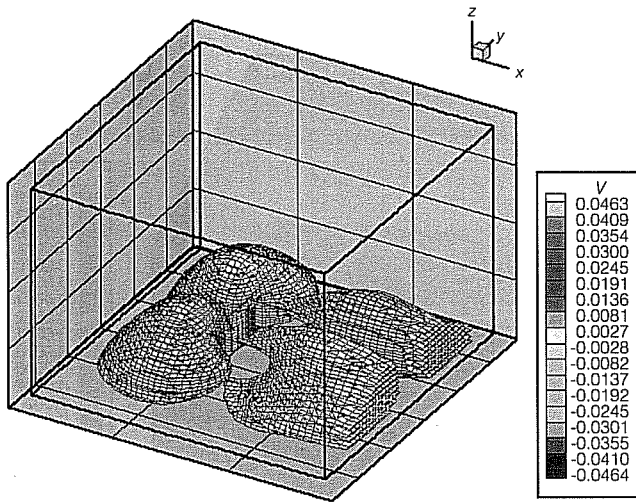
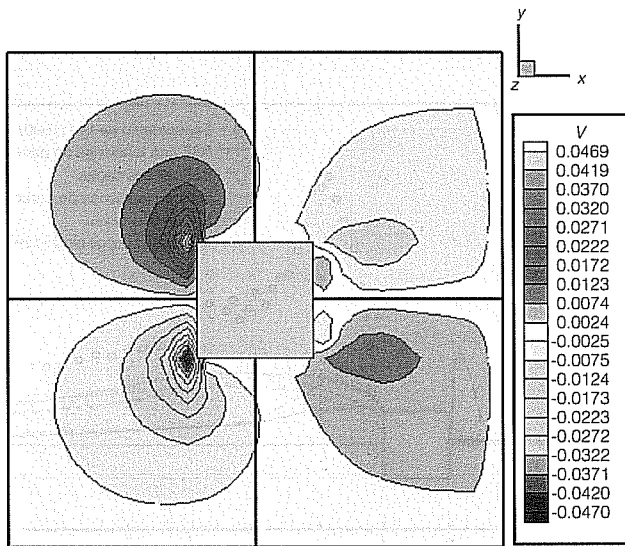


Ilustración 8. Corte x-y del contorno de la velocidad V , en m/s.



obtuvieron la misma simetría en sus resultados, en un estudio numérico y experimental sobre flujo alrededor de obstáculos, los cuales tuvieron diferente geometría en cada caso (ilustraciones 22 y 25). En cuanto a resultados que se pueden comparar en forma cualitativa, se tienen las ilustraciones 22, 23, 24 y 25, aunque las líneas de corriente difieren un poco debido a dos causas principales: la primera es que el obstáculo no tiene la misma geometría y la longitud del dominio es diferente, la segunda causa es que los resultados parten de utilizar modelos numéricos diferentes, ya que para las ilustraciones 22 y 25 se utilizó una simulación de

grandes remolinos y para las ilustraciones 23 y 24 se usó el modelo estadístico descrito anteriormente. Sin embargo, en ambos es posible observar el flujo de recirculación en la parte posterior, anterior y a los lados del obstáculo, producto de la separación del flujo.

Este estudio también arrojó resultados que coinciden en forma cuantitativa con un trabajo numérico presentado por Franke y Rodi (1993), y que se muestran en las ilustraciones 5, 6, 14 y 15. En la ilustración 5 se tiene la velocidad media U adimensional a lo largo del centro del canal obtenida en el estudio numérico de Franke y Rodi (1993). Dicho estudio se refiere al flujo bidimensional sobre las esquinas de un cilindro, con un $Re = 22000$, en el que se aplicaron varios modelos de turbulencia. Además se muestran los resultados experimentales de Lyn (1990) para ese caso. En la ilustración 6 se observan los valores que se obtienen en el

Ilustración 9. Componente vertical W , en m/s.

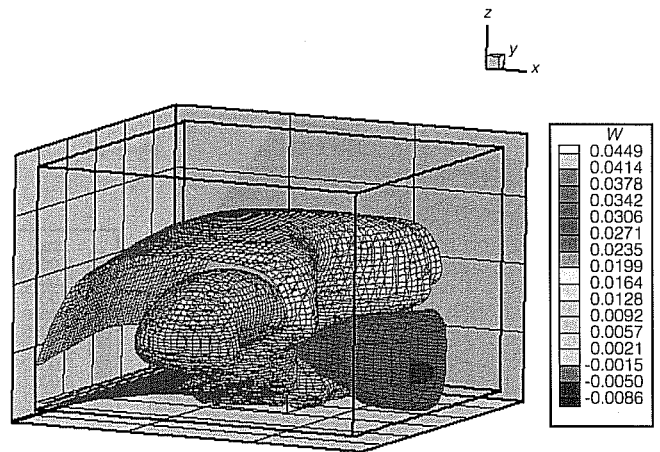


Ilustración 10. Plano x-z del contorno de W , en m/s.

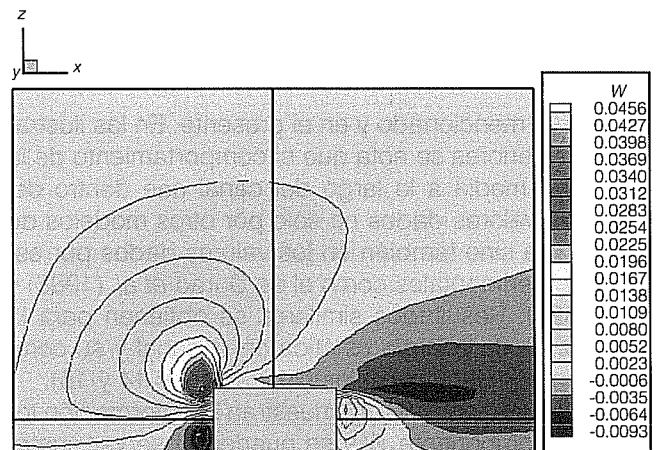


Ilustración 11. Contorno de la velocidad fluctuante \overline{uv} , en m^2/s^2 .

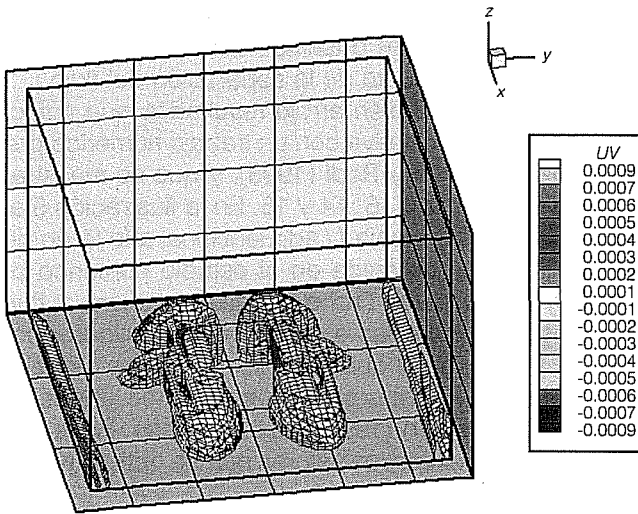


Ilustración 13. Contornos del término de producción de la energía cinética en m/s^2 .

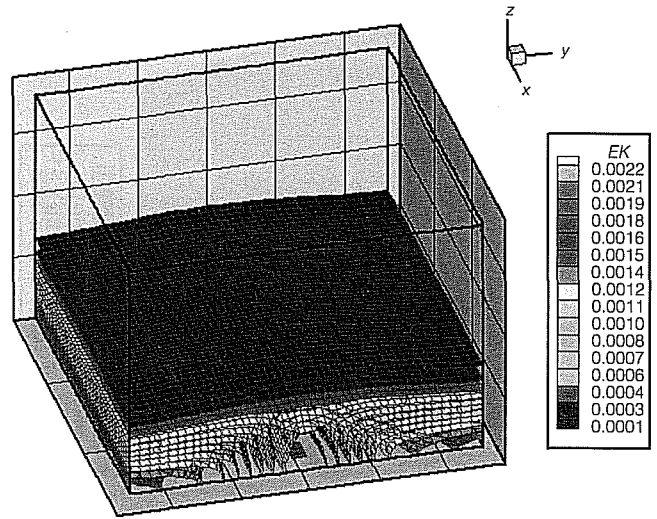


Ilustración 12. Vista frontal de la velocidad fluctuante \overline{vw} , en m^2/s^2 .

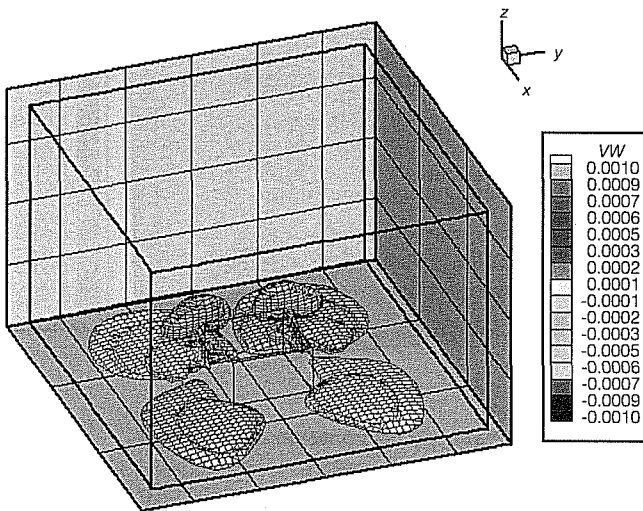
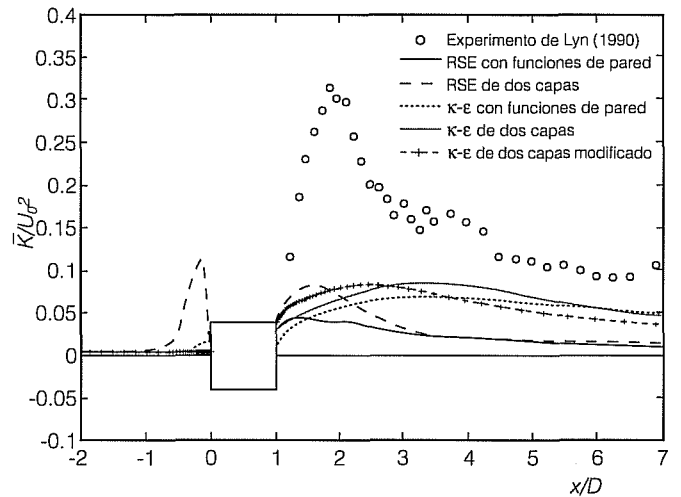


Ilustración 14. Energía cinética adimensional, obtenida por Franke y Rodi (1992).



estudio ya mencionado y en el presente. En las ilustraciones anteriores se nota que el comportamiento de la velocidad media a lo largo del canal cae dentro del rango de valores dados no sólo por otros modelos de turbulencia sino también en los valores dados por estudios experimentales como el de Durao *et al.* (1988) y Lyn (1990). Resultados similares se obtienen para la producción de energía cinética en el canal y su comparación con otros modelos (ilustraciones 14 y 15).

Las ilustraciones 9 y 10 muestran la deformación total de la componente W y se pueden observar cuatro

zonas de recirculación: dos en las aristas inferiores y dos en las aristas superiores a cada lado del obstáculo; dichas zonas están relacionadas con estructuras vorticosas, características de flujos sobre obstáculos, como vórtices de anillo, de fondo o de tubo. Millán y Ramírez (1998b) abordan con más profundidad este tipo de estructuras.

En la ilustración 13 se presentan los contornos de producción de la energía cinética y en las ilustraciones 16 y 17 se tiene el balance de los mecanismos que intervienen en ella, en las direcciones x e y , análogos a

los macrotérminos definidos en la ecuación 14. En las ilustraciones 19, 20 y 21 se presentan resultados similares para la disipación de la energía cinética. En cuanto al balance de términos de la energía cinética, el término más significativo en las dos direcciones es el de producción que, sumado al de advección, balancea al de difusión y disipación, no así en el caso del balance de los términos de la disipación de la energía

cinética, en donde el término de producción es cero y el de advección balancea los términos de difusión y disipación en ambas direcciones.

Es propio hacer notar que los contornos de la producción y disipación de la energía cinética evolucionan en forma similar, como se puede constatar en las ilustraciones 13 y 18, en el intervalo de valores de dichos mecanismos.

Ilustración 15. Comparación entre resultados obtenidos en el presente estudio y el trabajo de Franke y Rodi (1992) de la energía cinética.

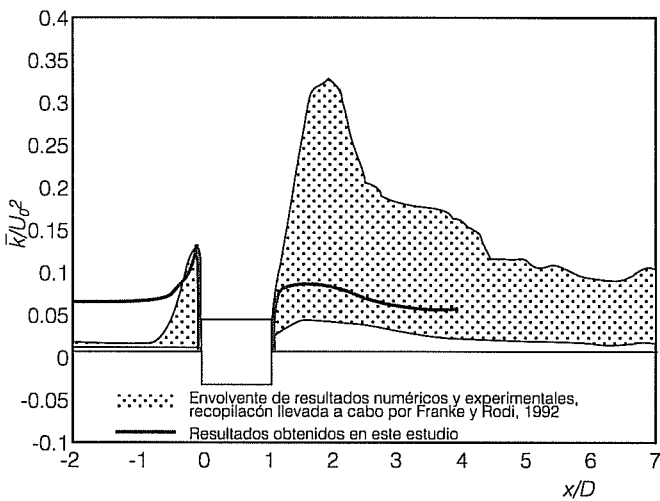


Ilustración 16. Balance de mecanismos de la producción de la energía cinética, en la dirección x.

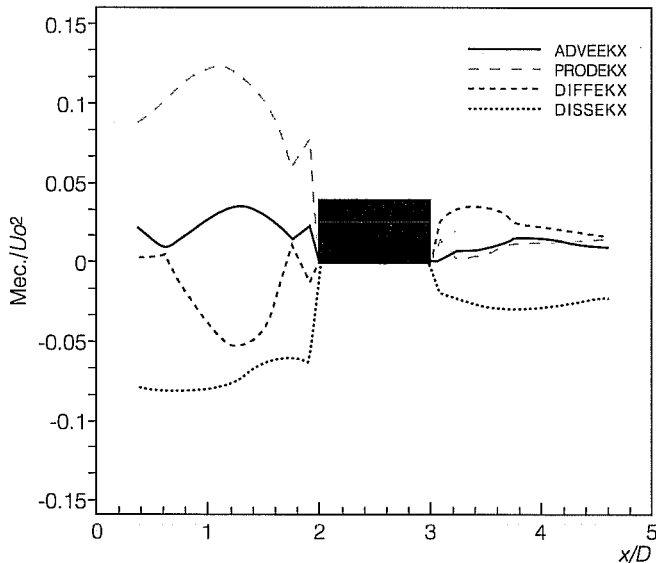


Ilustración 17. Balance de mecanismos de la producción de la energía cinética, en y.

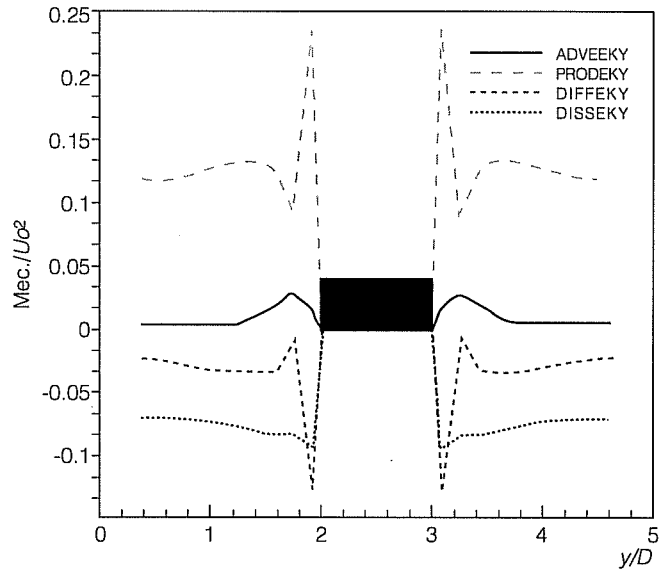


Ilustración 18. Contornos del término de disipación de la energía cinética, en m²/s³.

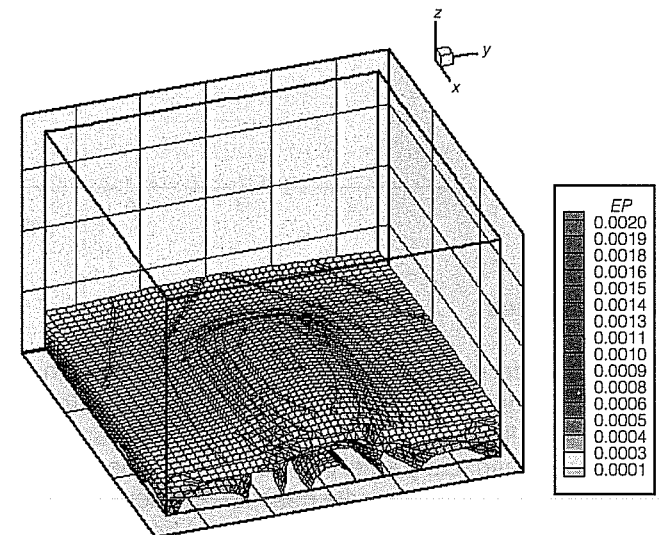


Ilustración 19. Disipación de la energía cinética a lo largo del canal, obtenida en el presente trabajo.

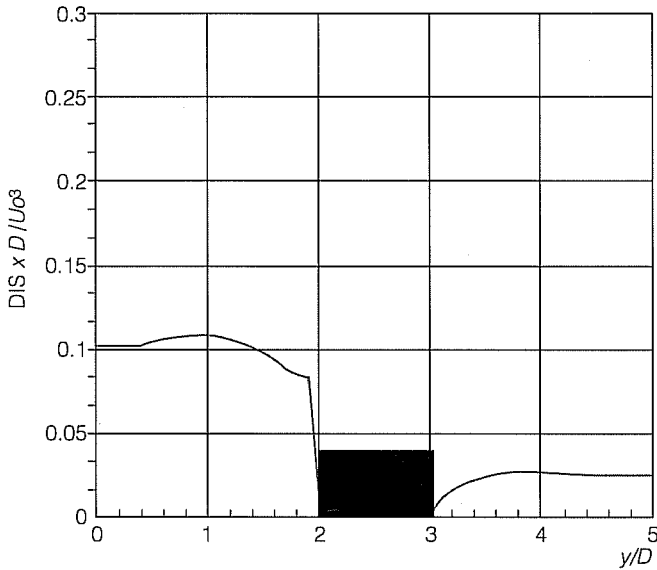


Ilustración 21. Balance de mecanismos de la disipación de la energía cinética, en la dirección y.

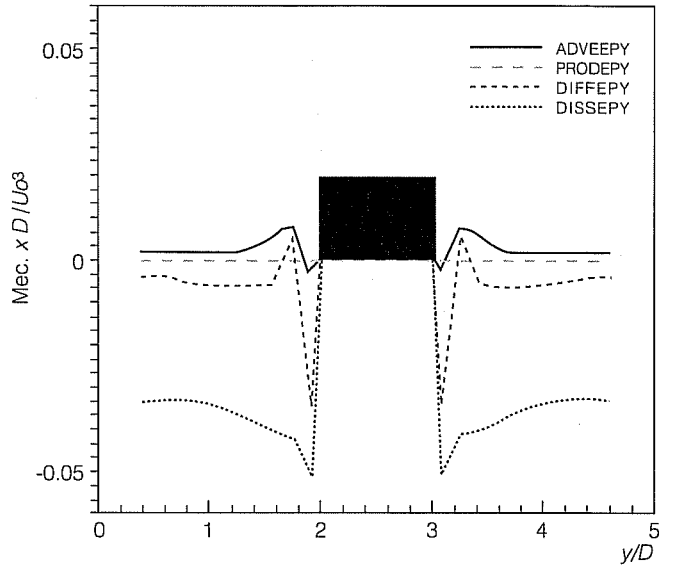


Ilustración 20. Balance de mecanismos de la disipación de la energía cinética, en la dirección x.

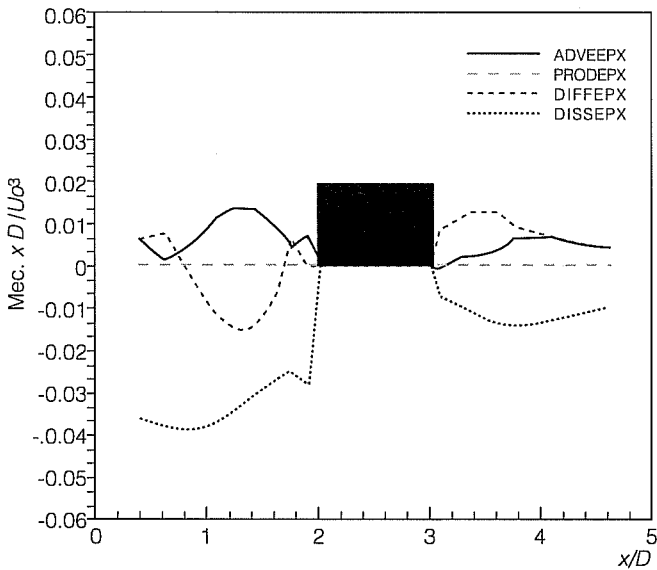


Ilustración 22. Campo de velocidades a lo largo de un canal obtenido por Mason y Morton (1986).

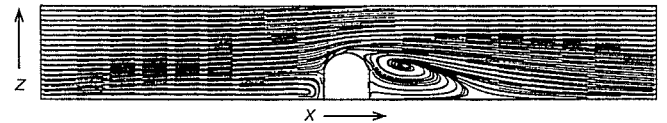
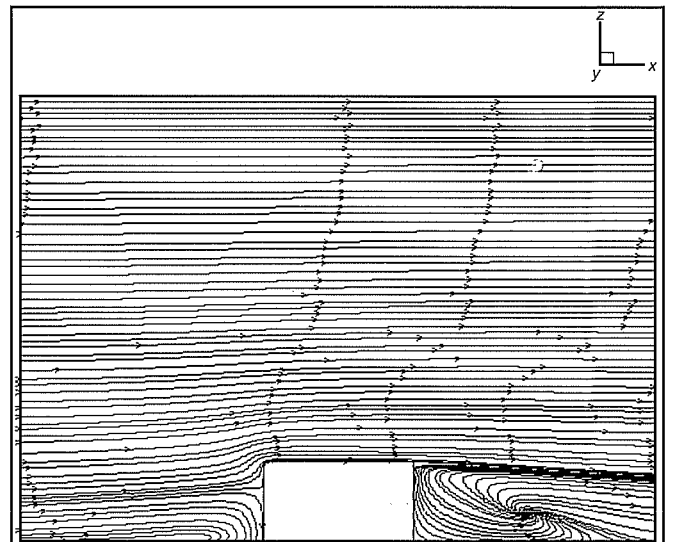


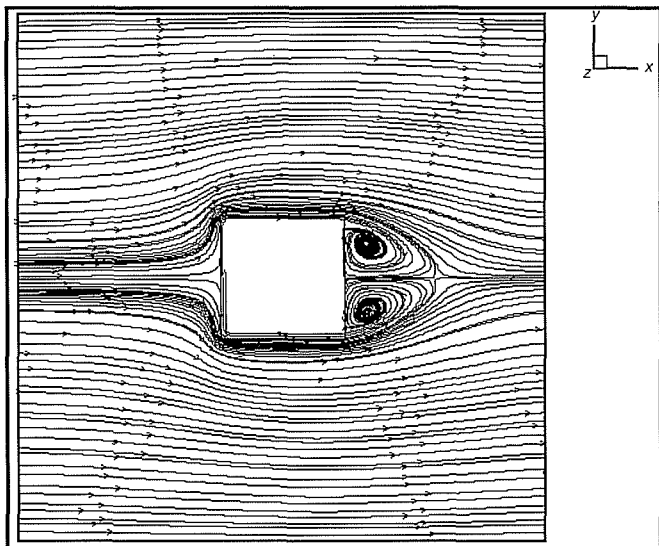
Ilustración 23. Campo de velocidades en el plano x-z a lo largo del canal, obtenido en el presente estudio.



Conclusiones

El estudio de estructuras turbulentas se inició con la imposición del perfil de entrada emitido en el extremo del canal y libre en el otro extremo, dejándose evolucionar en el espacio y en el tiempo, e introduciendo una perturbación al flujo, en este caso, el obstáculo cúbico en el fondo de un canal, destacando el hecho de que

Ilustración 24. Corte x-y del campo de velocidades a lo largo del canal, obtenido en el presente estudio.



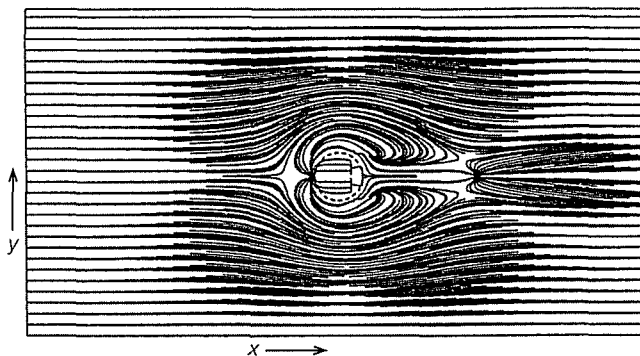
tanto el obstáculo como el flujo son tridimensionales. Para el cálculo de este último se utilizó un modelo de turbulencia κ - ϵ , mismo que se incorporó al programa QUETZAL/3D. La mayoría de los mecanismos como advección, difusión, producción o disipación de energía cinética o de las variables resultantes sólo las podemos comparar cualitativamente, debido a la ausencia en la literatura de tales estudios para flujos tridimensionales. En los casos como los campos de velocidad media, éstos son ampliamente validados por estudios tanto teóricos y numéricos como experimentales, por ello, los resultados obtenidos son satisfactorios.

Recibido: 14/10/1999
Aprobado: 15/08/2000

Referencias

- Bradshaw, P., D.H. Ferris y N.P. Atwell, "Calculation of Boundary Layer Development Using the Turbulent Energy Equation", *J. Fluid Mech.*, vol. 28, 1967, pp. 593-616.
- Durao, D.F.G., M.V. Heitor, J.C.F. Pereira, "Measurements of Turbulent and Periodic Flows Around a Square Cross-Section Cylinder". *Experiments in Fluids*, vol. 6, 1988, pp. 298-304.
- Franke R. y W. Rodi, "Calculation of Vortex Shedding Past a Square Cylinder with Various Turbulence Models", *Turbulent Shear Flows 8*, Durst, F., R. Friedrich, B.E. Launder, F.W. Schmidt, U. Schumann, J.H. Whitelaw (editores), Springer-Verlag, Berlín Heidelberg, 1993, pp. 189-204.

Ilustración 25. Corte x-y del campo de velocidades a lo largo de un canal, obtenido en el estudio de Mason y Morton (1986).



- Karthe, V.C. y H.J. Leutheusser, "Distribution of Tractive Force in Open Channels", *J. Hydraulics Div., ASCE*, vol. 96, núm. HY-7: 1970, pp. 1469-1483.
- Knight, D.W., J.D. Demetriou y M.E., "Hamed, Boundary Shear in Smooth Rectangular Channels", *J. Hydraulic Eng.*, ASCE, vol. 110, 1984, pp. 405-422.
- Larousse A., R. Martinuzzi y C. Tropea, "Flow Around Surface-Mounted, Three-Dimensional Obstacles", *Turbulent Shear Flows 8*, Durst, F., R. Friedrich, B.E. Launder, F.W. Schmidt, U. Schumann, J.H. Whitelaw, Springer-Verlag, Berlín Heidelberg, 1993, pp. 127-139.
- Lyn, D.A., *Private Communication*, Published en Franke, R. y W. Rodi, 1993.
- Mason, P.J. y B.R. Morton, "Trailing Vortices in the Wake of Surface-Mounted-Obstacles", *J. Fluid Mech.*, vol. 118, 1986, pp. 341-377.
- Millán, C., *Estudio de los efectos turbulentos en el fondo de un canal mediante un modelo numérico de turbulencia k- ϵ en 3-D*, tesis desarrollada para obtener el grado de maestro en ingeniería hidráulica (por sustentarse), DEPEFI, UNAM Campus Morelos, 1998, pp. 119-121.
- Millán, C. y H. Ramírez, *Tratamiento de la ecuación estadística de la vorticidad; una alternativa de modelación*, XVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Oaxaca, México, 1998b, pp. 203-212.
- Nezu, I. y W. Rodi, "Experimental Study on Secondary Currents in Open Channel Flow", *Proc. Of 21st IAHR Congress*, Melbourne, vol. 2, 1985, pp. 335-119.
- Nezu I. y Nakagawa, *Turbulence in Open Channel Flows*, A. Balkema, Rotterdam. Holanda, 1993, pp. 159-214.
- Peyret, R. y T.D. Taylor, *Computational Methods for Fluid Flow*, Springer-Verlag Berlín Heidelberg, Nueva York, ISBN 3-540-11147-6, 1983, pp. 143-157.
- Rodi, W., *Turbulence Models and their Applications in Hydraulics. A State of the Art Review*, 2nd. edition Institut für Hydromechanik, University of Karlsruhe, Alemania, 1984, pp. 27-31.

Abstract

Millán Barrera, C. & H. Ramírez León, "Numerical Analysis of Turbulent Structures with a κ - ϵ 3D Model of a Flow over a Cubic Obstacle", Hydraulic Engineering in Mexico (in Spanish), vol. XVI, num. 4, pages 53-62, October-December, 2001.

A numerical analysis is applied to a flow in an open channel and deformed by a three dimensional obstacle. The proposed model solves the 3-D Navier-Stokes equations, to which a κ - ϵ turbulence model is coupled. The numerical analysis was constructed using a finite difference formulation for time evaluation purposes and staggered cells for space evaluation. The main goal of the present work was to study the turbulent structures and patterns of the flow due to an obstacle at the bottom of the channel plate. Our results are according to those found in the related literature. Flow patterns allow establishing the generation of turbulent structures by means of a comparison between this study and a most recent related work that evaluates the vorticity of the flow.

Key words: turbulent flow, numerical simulation, turbulence modelling, Reynolds theorem, finite differences schemes, staggered cell, turbulence structures.

Dirección institucional de los autores:

Cecia Millán Barrera
Hermilo Ramírez León

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Coordinación de Tecnología-Hidráulica
Subcoordinación de Hidráulica Ambiental
Paseo Cuauhnáhuac 8532, 62550 Progreso, Morelos, México
Correos electrónicos: cmillan@tlaloc.imta.mx
y hrleon@tlaloc.imta.mx