



SIMULACION EN 2D DEL EFECTO DE VIENTO SOBRE UNA VIVIENDA, UTILIZANDO DIFERENTES MODELOS DE VISCOSIDAD

V. Molina, N. Salvo

INENCO – CIUNSa - Universidad Nacional de Salta
Buenos Aires 177 - (4400) - Salta - Argentina
Tel: 0-387-4255424 Fax: 54-387-4255489
E-mail: molinav@inenco.net - nahuel@unsa.edu.ar

RESUMEN: Este trabajo muestra los resultados obtenidos de la simulación en 2D de un flujo turbulento de fluido alrededor de un cuerpo, considerando diferentes valores del número de Reynolds. La geometría utilizada como obstáculo es el perfil de una vivienda. Como técnica de cálculo se utilizó un código en FORTRAN que implementa el método de elementos finitos. La simulación se llevó a cabo considerando en cada caso diferentes modelos para el tensor de tensiones. Se compararon los resultados de la energía turbulenta para los diferentes modelos considerados.

Palabras Claves: simulación, elementos finitos, mecánica de fluidos

INTRODUCCION

Muchos de los fenómenos que suceden en la naturaleza y en la vida cotidiana pueden ser descritos mediante modelos matemáticos. La complejidad de dicho modelo depende del fenómeno que se desea describir. Algunas situaciones se pueden representar en términos de ecuaciones diferenciales parciales, y en la gran mayoría de los casos, la solución analítica a estas ecuaciones es imposible de calcular.

En particular el estudio del movimiento de un fluido alrededor de un cuerpo sólido, puede implementarse de diferentes maneras, ya sea intentando resolver las ecuaciones de Navier-Stokes de forma tal de obtener la solución exacta del problema (cosa que resulta en la mayoría de los casos imposible) o considerar como alternativa métodos numéricos para aproximar una solución. Con respecto a esto último podemos decir que gracias a los avances en la tecnología de las computadoras digitales, muchos fenómenos de la mecánica de fluidos, cuya solución exacta no se conoce, han podido ser resueltos mediante la implementación de simulaciones numéricas.

Cuando se considera el caso del flujo que rodea una vivienda, la característica del mismo es turbulenta. La principal cualidad de este tipo de flujo es la presencia de una variación extremadamente irregular de la velocidad en el tiempo en cada punto. Por lo tanto la velocidad fluctúa continuamente alrededor de su valor medio y la amplitud de esta variación no es, en general pequeña en comparación con la propia velocidad.

La diferencia entre la velocidad media del flujo y la velocidad instantánea en cada punto es una característica propia de los flujos turbulentos. Por otro lado todo este movimiento irregular del fluido se superpone al flujo medio, lo que se traduce cualitativamente en una superposición de remolinos o torbellinos turbulentos de diferentes tamaños o diferentes escalas.

Al resolver la ecuación de Navier – Stokes en un flujo turbulento, y obtener el perfil de velocidad del flujo, surge una incógnita adicional en la ecuación de momento, que es la tensión de corte turbulenta, τ_R (tensiones de Reynolds). La hipótesis tradicional para tratar esta incógnita es considerar una viscosidad de remolino (μ_t), que de acuerdo a la hipótesis de Boussinesq se relaciona como:

$$\tau_R = \mu_t \epsilon(\mathbf{u}); \mu_t = \rho \nu_t \quad (1)$$

Donde \mathbf{u} es la velocidad, $\epsilon(\mathbf{u})$ es el tensor gradiente de velocidad y con ν_t se representa la viscosidad cinemática turbulenta. μ_t tiene las mismas dimensiones que la viscosidad pero no es una propiedad del fluido sino del flujo. Por lo tanto se necesita de un modelo para obtener la expresión de μ_t .

Las posibilidades consideradas en el trabajo fueron:

- Modelo de Mixing length:

$$\nu_t = C l^2 \sqrt{2 \epsilon(\mathbf{u}) : \epsilon(\mathbf{u})} \quad (2)$$

donde C y l son constantes experimentales y $\epsilon(\mathbf{u}) : \epsilon(\mathbf{u})$ implica una doble contracción de índices.

- Modelo k - ε : En este caso, ν_t se obtiene de resolver dos ecuaciones diferenciales, una para energía turbulenta k y otra para la velocidad de disipación de energía turbulenta ε .

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla k = P_k - C_\mu \frac{k^{3/2}}{L} + \nabla \cdot \left(\frac{\nu}{\sigma_k} \nabla k \right) + \nu \Delta k \quad (3)$$

donde C_μ , σ_k y L son constantes experimentales y $P_k = (1/\rho) \tau_R : \nabla \mathbf{u}$

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla \epsilon = C_{\epsilon 1} \frac{\epsilon}{k} P_k - C_{\epsilon 2} \frac{\epsilon^2}{k} + \nabla \cdot \left(\frac{\nu_t}{\sigma_\epsilon} \nabla \epsilon \right) + \nu \Delta \epsilon \quad (4)$$

donde $C_{\epsilon 1}$, $C_{\epsilon 2}$ y σ_ϵ son constantes experimentales. Para este modelo, la relación final es:

$$\nu_t = C_\mu (k^2/\epsilon) \quad (5)$$

- Modelo k - ω : En este modelo, ν_t se obtiene de resolver dos ecuaciones diferenciales, una para la energía turbulenta k , ecuación (3) y otra para la variable auxiliar ω dada por:

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla \omega = C_{\omega 1} \frac{\omega}{k} P_k - C_{\omega 2} \omega^2 + \nabla \cdot \left(\frac{\nu_t}{\sigma_\omega} \nabla \omega \right) + \nu \Delta \omega \quad (6)$$

donde $C_{\omega 1}$, $C_{\omega 2}$ y σ_ω constante experimentales . Obteniéndose como relacion final:

$$\nu_t = (k/\omega) \quad (7)$$

MODELO COMPUTACIONAL

Lo primero a realizar en una simulación numérica es pasar de una descripción continua a una forma discreta. Esto implica que se tienen que distribuir una serie de puntos sobre el dominio de estudio, donde la solución numérica de la ecuación diferencial será calculada. Al proceso de distribución de puntos y la forma en que ellos se conectan se conoce como la generación de la malla (pre-proceso). Esta etapa del trabajo fue realizada con un pre y post procesador gráfico (GID) desarrollado en el CIMNE (Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería).

El fenómeno que se estudió, es el flujo de fluido que rodea a una vivienda, en forma bidimensional. Para tal fin se tomó la casa construida en la localidad de Payogasta (provincia de Salta) por el Camel Trophic. Posteriormente se construyó la malla de elementos finitos en el espacio que rodea la vivienda. Para la obtención de la malla se utilizaron elementos triangulares en forma estructurada. En la figura 1 se muestra la distribución de elementos y se puede apreciar también que se concentraron elementos en las zonas donde se deseaba más exactitud en el cálculo o sea en el techo de la casa y en los bordes derecho e izquierdo de la misma.

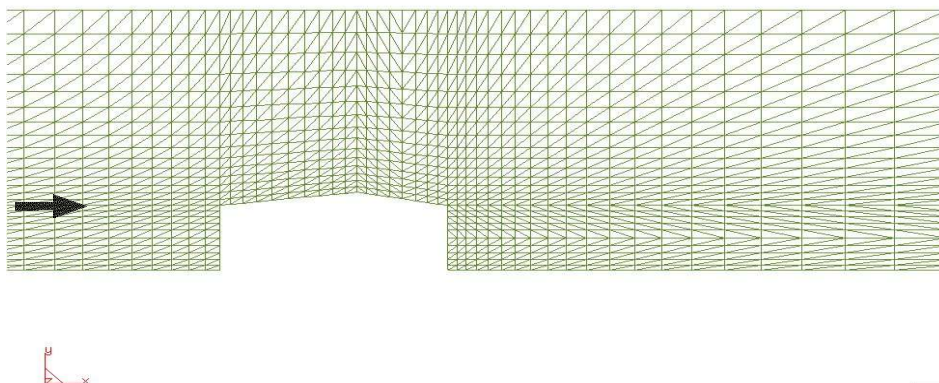


Figura 1 : Malla estructurada con elementos triangulares (simplex) 3040 elementos – 1624 nodos

La figura 1 sólo muestra una parte de la malla completa. El flujo de aire, para la simulación, incide desde la izquierda en la figura 1 (flecha en negro).

Las dimensiones de la vivienda son 7.5 m de largo, altura máxima del techo (centro) de 3 m y altura mínima del techo de

2.5 m (en los extremos). Esto da una inclinación del techo del lado izquierdo de 6.3° y del lado derecho de 9.4° . Se consideraron diferentes regímenes de acuerdo al número de Reynolds (Re) para cada modelo antes mencionado. Los valores del Re fueron de 8.1×10^3 , 8×10^4 y 2×10^5 . Estos valores contemplan los rangos de velocidad de viento en la zona donde se encuentra construida la vivienda.

El programa de simulación utilizado contiene la posibilidad de solucionar la ecuación de Navier – Stokes considerando los diferentes modelos ya mencionados.

RESULTADOS OBTENIDOS

Las imágenes que se muestran a continuación fueron procesadas por GID con la opción Contour-Fill, en todas las figuras la zona más clara es la de mayor valor de energía turbulenta.

En las figuras 2 y 3 se aprecian los resultados obtenidos para números de Reynolds de 8.1×10^3 de la energía cinética turbulenta considerando los modelos de $k - \epsilon$ y $k - \omega$ respectivamente. En este caso se puede ver que los resultados son muy diferentes, el fluido por detrás del edificio se comporta de manera distinta. Puede observarse también que el modelo $k - \omega$ predice un efecto mayor delante de la vivienda que en el modelo $k - \epsilon$.

Es notable la disipación de la energía turbulenta de un modelo frente a otro, una posible explicación de este fenómeno es la dependencia cuadrática del modelo $k - \epsilon$ frente a la dependencia lineal del modelo $k - \omega$.

En las figuras 4 y 5 se muestran los mismos resultados anteriores pero se ha variado el número de Reynolds, tomando ahora el valor de 8×10^4 . Nuevamente son significativas las diferencias en las predicciones de ambos modelos.

Una vez más el modelo $k - \omega$ predice efectos delante de la vivienda, mientras que el modelo $k - \epsilon$ no muestra un mayor efecto a pesar que la energía contenida en el flujo medio es mayor.

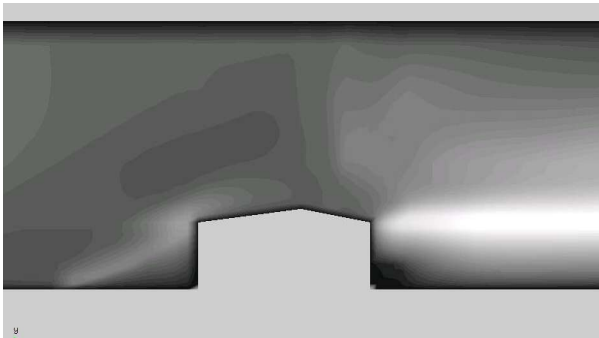


Figura 2: Energía cinética turbulenta,
modelo $k - \epsilon$ ($Re = 8.1 \times 10^3$)

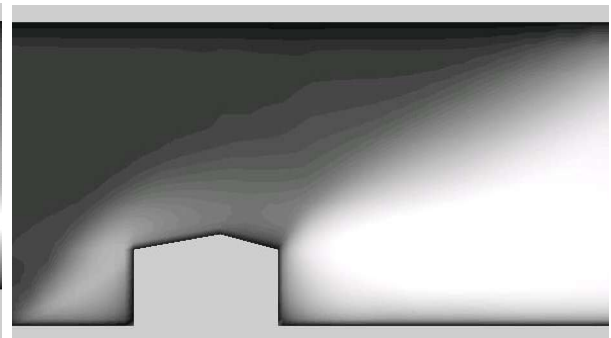


Figura 3: Energía cinética turbulenta,
modelo $k - \omega$ ($Re = 8.1 \times 10^3$)

Por otro lado, ahora la zona donde varía la energía cinética turbulenta de forma más importante para ambos modelos es hacia atrás, la diferencia entre ambos es que el modelo $k - \omega$ predice un efecto de despegue y una mayor difusión en forma vertical mientras que el modelo $k - \epsilon$ no.

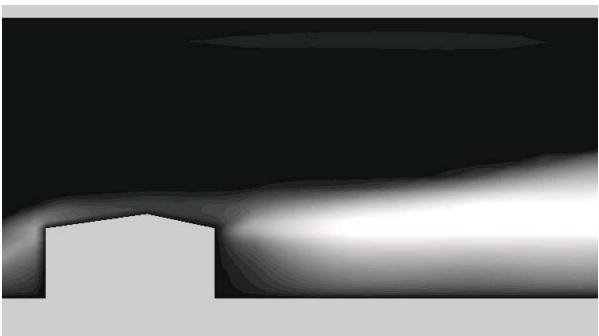


Figura 4: Energía cinética turbulenta
modelo $k - \epsilon$ ($Re = 8.1 \times 10^4$)

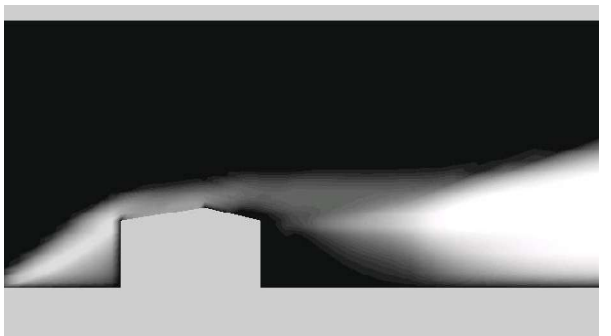


Figura 5: Energía cinética turbulenta
modelo $k - \omega$ ($Re = 8.1 \times 10^4$)

En las figuras 6 y 7 se considera el tercer valor del número de Reynolds (2×10^5) para ambos modelos. Para el modelo $k - \epsilon$ se sigue manteniendo una zona casi constante por detrás de la vivienda aumentando muy atrás. Por otro lado, para el

modelo $k - \omega$, la difusión de la energía turbulenta comienza de forma inmediata detrás del edificio, aumentando rápidamente hacia atrás.

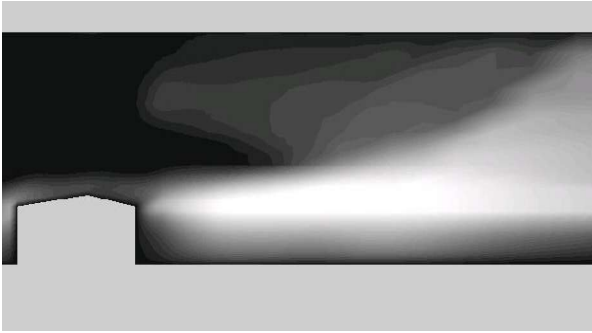


Figura 6 : Energía cinética turbulenta
modelo $k - \epsilon$ ($Re = 2 \times 10^5$)

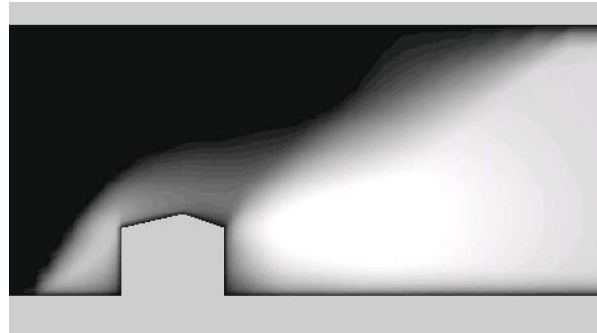


Figura 7 : Energía cinética turbulenta
modelo $k - \omega$ ($Re = 2 \times 10^5$)

Recordemos que la teoría de Mixing Length, propuesta por Prandtl (1925) en analogía con la teoría cinética, propone que las fluctuaciones turbulentas pueden ser relacionadas con una escala de longitud y un gradiente de velocidad, las cuales representan algún tamaño de remolino mayor que el camino libre medio en el fluido. El modelo se completa cuando se relaciona la longitud l con las condiciones del flujo.

En las figuras 8 y 9 se muestran los resultados obtenidos para la distribución de velocidad, aplicando este modelo a diferentes números de Reynolds. Observando la figura 8, puede apreciarse que en la zona por detrás de la vivienda, a la altura del techo hay desprendimiento de pequeños vórtices. Cuando aumenta el número de Reynolds, figura 9, este desprendimiento de vórtices se hace más evidente.

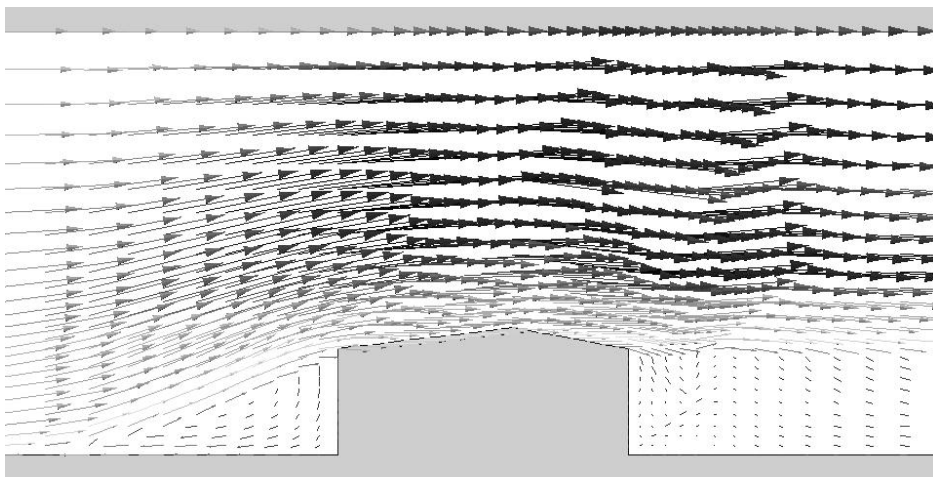


Figura 8 : Diagrama vectorial de la distribución de velocidad – Modelo Mixing Length, $Re = 8.1 \times 10^3$

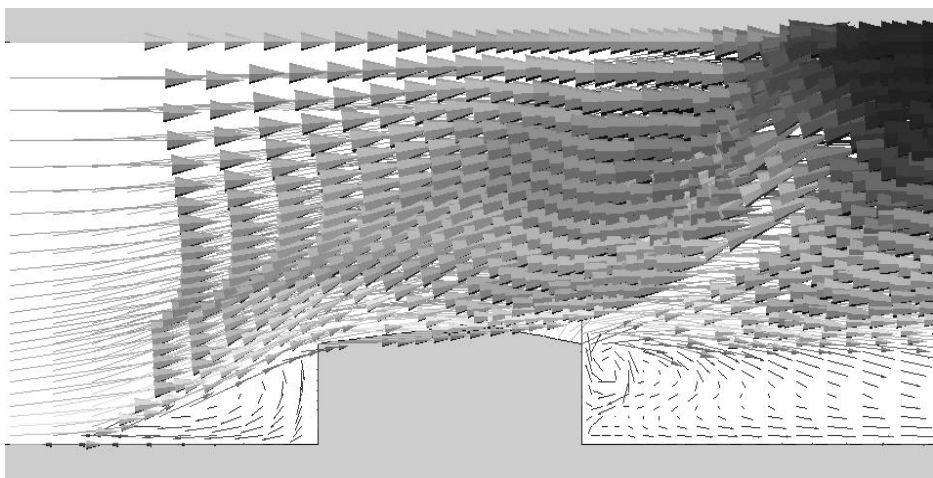


Figura 9 : Diagrama vectorial de la distribución de velocidad – Modelo Mixing Length, $Re = 2 \times 10^5$

En ambas figuras existe recirculación del flujo en la parte delantera de la vivienda. Esto está de acuerdo con lo predicho por ambos modelos $k - \epsilon$ y $k - \omega$ mostrados anteriormente. Comparando la figura 7 con la figura 9, vemos los vórtices generados en la parte posterior de la vivienda son los responsables del transporte de energía cinética.

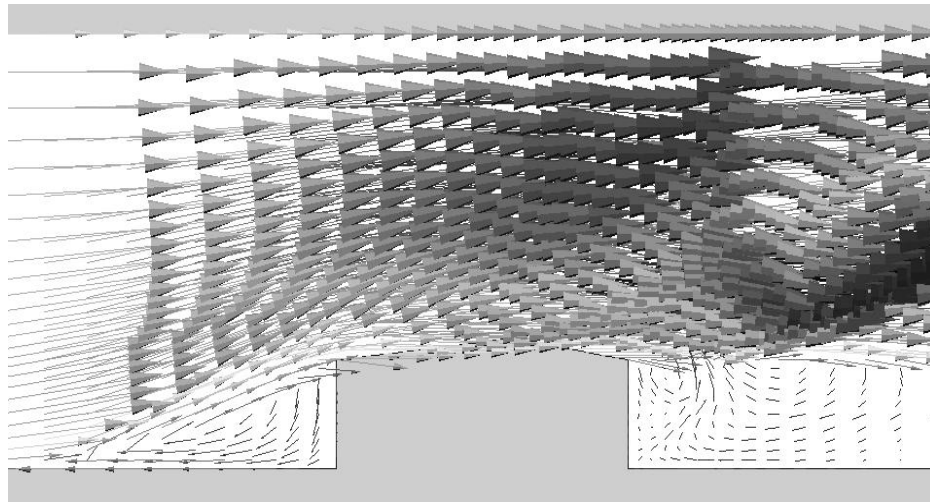


Figura 10 : Diagrama vectorial de la distribución de velocidad – Modelo $k - \epsilon$, $Re = 2 \times 10^5$

En la figura 10 se muestran los vectores velocidad considerando el modelo $k - \epsilon$. Los vórtices en este caso son de menor tamaño y se localizan a una altura mayor. Esto explica por que en la figura 6, la energía cinética turbulenta no se difunde como en el caso del modelo $k - \omega$. En la figura 11 se puede apreciar, en diagrama vectorial, que los vectores velocidad se dispersan más en la parte posterior de la vivienda.

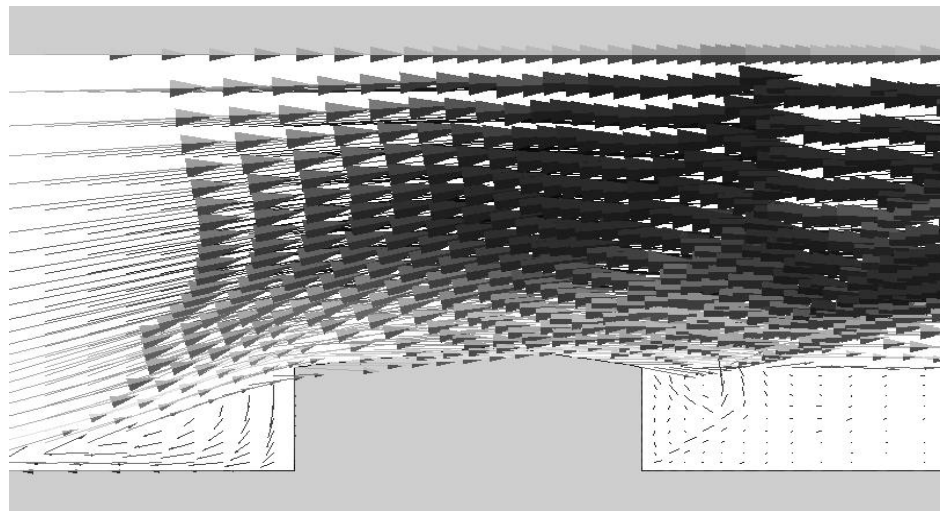


Figura 11 : Diagrama vectorial de la distribución de velocidad – Modelo $k - \omega$, $Re = 2 \times 10^5$

CONCLUSIONES

El principal beneficio de este tipo de soluciones para flujos inestables alrededor de geometrías complejas es que puede ser modelizado rápidamente con un costo computacional relativamente bajo comparado con métodos experimentales que involucran una inversión grande de tiempo. Si bien los datos experimentales son concluyentes con respecto a sus resultados, la simulación computacional es una muy buena herramienta a la hora de probar diferentes geometrías y modelos con el objeto de optimizar una experiencia de laboratorio.

Del análisis realizado, podemos concluir que la forma del cuerpo influye de manera radical en las características del flujo aguas abajo, causando que el flujo se separe y que esta perturbación se transporte hacia atrás del cuerpo. Los diferentes modelos muestran que el transporte de energía turbulenta es diferente a corta distancia del cuerpo, pero a mayor distancia los dos modelos coinciden. La bibliografía consultada revela que el modelo $k - \omega$ da mejores resultados para flujos que enfrentan obstáculos con perfiles salientes, por lo que en este caso en particular podríamos decir que el flujo predicho por el modelo $k - \omega$ es más exacto.

Considerando la zona delante del cuerpo, puede observarse, a partir de los datos mostrados que todos los modelos coinciden en lo que respecta a la recirculación del flujo; por el contrario atrás de la vivienda, el fenómeno recirculante es tratado mejor por el modelo $k - \omega$.

Por lo tanto en zonas cercanas a bordes sólidos el modelo $k - \omega$ ajusta mejor, por el contrario en lugares alejados donde el flujo puede considerarse libre, el modelo $k - \epsilon$, puede utilizarse sin ningún inconveniente. De forma tal que siempre habrá que tener presente, dependiendo de la situación que se quiera estudiar, la elección de uno u otro modelo.

Un aspecto importante a resaltar es que se cuenta con una herramienta de simulación que permite predecir las características del flujo cuando enfrenta un obstáculo. Queda reservado para trabajos futuros la posibilidad de simular en 3D, de forma tal de obtener resultados considerando diferentes orientaciones del cuerpo (la vivienda) con respecto al flujo medio. De esta forma se obtendrá una descripción más detallada del flujo. Por otra parte la validación experimental en lo que respecta a la visualización de las características del flujo es necesaria para decidir finalmente que modelo se ajusta más a la realidad.

REFERENCIAS

Zienkiewicz O. C. y Taylor R. L. (1999). El método de los elementos finitos – Mecánica de Sólidos y Fluidos. Dinámica y no linealidad, 4ta edición, Mc Graw Hill Inc.

Batchelor G. K. (1967). An Introduction to Fluid Dynamics – Cambridge at the University Press.

White F. M. (1991). Viscous Fluid Flow – Second Edition – Mc Graw Hill. Inc.

Salvo N, De Paul I, (2001) Modelización y simulación de un flujo de fluidos a través de un obstáculo. AVERMA (2001) Vol. 5.

Peng S. H, Davison L, Holmberg S (1996) – The Two-Equations Turbulence $k - \omega$ Model Applied to Recirculating Ventilation Flows.

ABSTRACT

This paper shows the results obtained of the simulation in 2D of a turbulent flow of fluid around a body, considering different values of the Reynolds number. The geometry utilized as obstacle is the profile of a dwelling. As technique of calculation a code was utilized in FORTRAN that implements the finite method of elements. The simulation was carried out considering different models for the tensor of tensions in each case. The results of the turbulent energy for the different model were considered.

Keywords: simulations, finite element, mechanical of fluid.