

ANÁLISIS BIDIMENSIONAL DEL EFECTO DEL VIENTO SOBRE UN GRUPO DE VIVIENDAS

N. Salvo, V. Molina, M. Villena

INENCO – Universidad Nacional de Salta
Buenos Aires 177 - (4400) – Salta – Argentina
Tel: 54-387-4255424 Fax: 54-387-4255489

E-mail: nahuel@unsa.edu.ar – molinav@inenco.net – maiver@inenco.net

RESUMEN: En el presente trabajo se muestran los resultados obtenidos de una simulación numérica en 2D para un flujo turbulento considerándose dos perfiles de viviendas orientadas a lo largo de la corriente. Para la solución numérica de las ecuaciones que describen el fenómeno se utilizó un código en FORTRAN, que implementa el Método de Elementos Finitos (MEF). Se tienen en cuenta diferentes velocidades del flujo incidente, además de distintos modelos de viscosidad con el objeto de poder comparar resultados.

Palabras claves: simulación 2D, elementos finitos, mecánica de fluidos

INTRODUCCIÓN

Considerando que todo cuerpo que se encuentra en una corriente fluida, modifica los patrones de flujo aguas abajo, es inmediato concluir que, por ejemplo, una vivienda modificará las características del viento alrededor de la misma. Este sencillo fenómeno nos motiva a preguntarnos ¿cómo influye el hecho de considerar no solo una vivienda, sino varias, en una corriente de aire?, ¿cuáles serán los patrones del flujo a la que estará sometida la segunda vivienda, que se encuentra por detrás?.

Responder estas y otras preguntas al respecto, supone no solo tener una descripción muy detallada de las principales variables del flujo incidente, sino también contar con elementos que nos permitan visualizar correctamente lo que sucede por detrás de los obstáculos considerados. Hoy en día se puede contar con diferentes técnicas experimentales para estudiar correctamente la situación planteada. Por ejemplo, podemos considerar ensayos en túneles de viento donde se puede implementar velocimetría laser, anemometría de hilo caliente, etc. Todo estos métodos son muy onerosos y necesitan de un equipamiento considerable.

Otra forma de responder a la situación planteada es a través de la simulación numérica de las ecuaciones que describen el fenómeno. Esta metodología, aunque aproximada, es mucho más fácil de implementar y cuenta con la ventaja de que la definición de la situación (geometría a simular) puede ser modificada de acuerdo a las necesidades y de forma rápida. Este proceso es más económico que desarrollar una técnica experimental, como las mencionadas. Ambas metodologías de estudio (experiencias – simulación) pueden complementarse satisfactoriamente. A partir de programas de simulación se puede diseñar el fenómeno bajo estudio y luego con datos experimentales validar los algoritmos utilizados.

Un programa de simulación, para tal propósito debe ser capaz de solucionar numéricamente las ecuaciones que describen una determinada situación (por ejemplo, ec. Navier - Stokes, tensor de tensiones, ecs. constitutivas, etc). Dichas ecuaciones, conforman un sistema de ecuaciones diferenciales y son el punto de partida de todos los estudios en mecánica de fluidos y no es sorprendente que en la literatura se presenten en muchas formas alternativas.

En situaciones reales, predominan en el fluido, diferentes aspectos; por ejemplo, la viscosidad que es de importancia en la proximidad de contornos, donde se prescriben para la solución las velocidades o las fuerzas de superficie. Además, en muchos casos no existe una solución estacionaria, porque el fluido considerado exhibe turbulencia, lo que implica una fluctuación aleatoria de la velocidad. La ecuación de Navier – Stokes se completa, con la ecuación de continuidad (conservación de la masa) y las ecuaciones constitutivas correspondientes para dar un sistema completo de ecuaciones e incógnitas (Molina et al. 2003).

En el presente análisis se supone que el fluido es (casi) incompresible o sea que la variación de la densidad con la presión es muy pequeña y además que el problema es isotérmico.

EL PROGRAMA DE SIMULACIÓN

Para la simulación numérica se implementó un código en FORTRAN, la técnica numérica empleada es el Método de Elementos Finitos (MEF). El programa utilizado puede ser empleado para simular flujos turbulentos, flujos acoplados térmicamente, etc. Entre los aspectos más característicos del programa pueden destacarse la posibilidad de emplear métodos de penalización o formulaciones de estabilización entre otros.

En el trabajo no se consideraron situaciones transitorias, pero es importante destacar que el programa permite realizar este tipo de simulaciones.

Para la integración en el tiempo de la ecuación de Navier – Stokes el programa emplea diferencias finitas y puede ser realizada a partir de diferentes esquemas. El programa contempla, para el tratamiento de flujos turbulentos varios modelos de turbulencia, además hay que mencionar que el tensor de esfuerzo de Reynolds puede ser evaluado a partir de la hipótesis de Boussinesq.

Como hemos mencionado anteriormente, como técnica de análisis, se implementó el Método de Elementos Finitos. Para tal fin se utilizó un programa desarrollado en el International Center for Numerical Method in Engineering (ICNME) en su versión 6.0. Este programa (GID) es una interface gráfica que permite la definición, preparación y visualización de datos relacionados con simulaciones numéricas. Estos datos incluyen la definición de la geometría, materiales, condiciones de contorno y postproceso de los datos simulados.

En la definición de la geometría, GID es similar a los programas CAD (Computer Assisted Design), pero con algunas diferencias. La más importante es que la geometría es construida de manera jerárquica. Esto significa que una entidad de mayor nivel (dimensión) es construida a partir de entidades de menor nivel.

Una vez que la geometría esta completamente definida, GID puede ser utilizado para la generación de la malla de elementos finitos a utilizar en la simulación, pudiendo optarse por varios tipos de elementos.

El programa de simulación propiamente dicho, utiliza como datos de entrada los proporcionados por GID (coordenadas de nodos, conexión de elementos, etc.) y los suministrados por archivos de texto donde se encuentran las condiciones de contorno en ciertos nodos, pudiendo ser del tipo Neumann o Dirichlet .

DEFINICION DE GEOMETRIA (PREPROCESO)

El programa descrito anteriormente se ejecutó para la geometría que se muestra en la figura 1. Si bien esta es bastante sencilla, los resultados obtenidos son contundentes como puede leerse más adelante. Las dimensiones consideradas para las viviendas se muestran en la misma figura. Se consideró una separación entre cuerpos igual al doble de la dimensión del primer objeto.

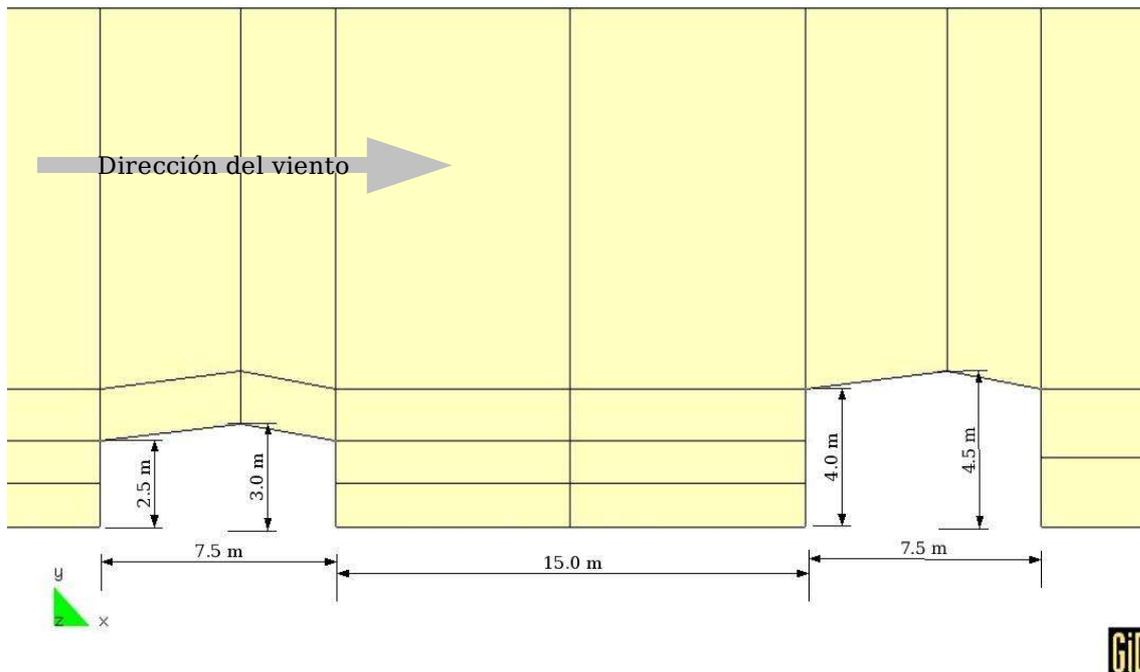


Figura 1: Geometría utilizada

La simulación se llevo a cabo con diferentes velocidades de viento con el objeto de poder comparar resultados. Las velocidades consideradas fueron $v = 1.5$ m/s y $v = 5$ m/s. Además se implementaron para la misma malla diferentes modelos del tensor de tensiones. Los modelos utilizados fueron, $k - \epsilon$, $k - \omega$ y "mixing length".

En la figura 2 se muestra la malla utilizada, en la misma puede apreciarse que se propuso una concentración de elementos desde el piso hasta la altura de las viviendas. Recordemos que una mayor concentración de elementos permite una mayor precisión en el cálculo. Esto tiene el único inconveniente que el tiempo de simulación aumenta mucho además puede aumentar la propagación de los errores numéricos. Los elementos utilizados fueron bricks, de cuatro nodos. En la figura solo se muestra una parte de la malla, las dimensiones de la misma es:

Puntos Nodales: 3656 – Elementos: 3474 - Nodos por elemento: 4 Brick

RESULTADOS OBTENIDOS (POSTPROCESO)

La forma más común de evaluar la turbulencia es estimando su energía cinética. La mayor parte de los modelos de predicción numérica utilizan este concepto para considerar la cantidad de energía cinética del movimiento que se disipa a escalas menores, pues de otro modo el modelo se puede convertir en inestable. La energía cinética turbulenta (E_{ct}) se define como la energía cinética debida a las fluctuaciones de la velocidad respecto del movimiento medio. La ecuación de equilibrio que gobierna su existencia presenta en general la siguiente forma:

$$E_{ct} = E_{cT} + E_{cM} + E_{cV} + E_{cP} + D$$

E_{cT} = Energía cinética turbulenta de origen térmico asociada a la flotabilidad.

E_{cM} = Energía cinética turbulenta de origen mecánico asociada a las tensiones de corte.

E_{cV} = Energía cinética turbulenta transportada verticalmente por la propia turbulencia.

E_{cP} = Energía cinética turbulenta transportada por perturbaciones de presión.

D = Energía cinética turbulenta perdida por disipación molecular.

La parte de E_{cT} no fue considerada, debido a que se implemento un modelo isotérmico.

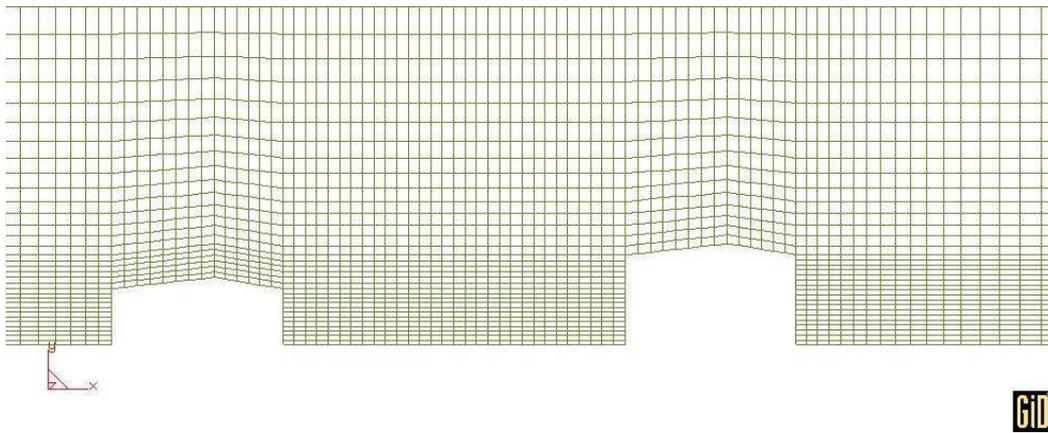


Figura 2: Malla de elementos finitos

En las figuras 3 y 4 se muestran los resultados de la Energía Cinética Turbulenta (E_{ct}) para el caso de velocidad de 1.5 m/s, de acuerdo a los modelos $k-\epsilon$ y $k-\omega$ respectivamente.

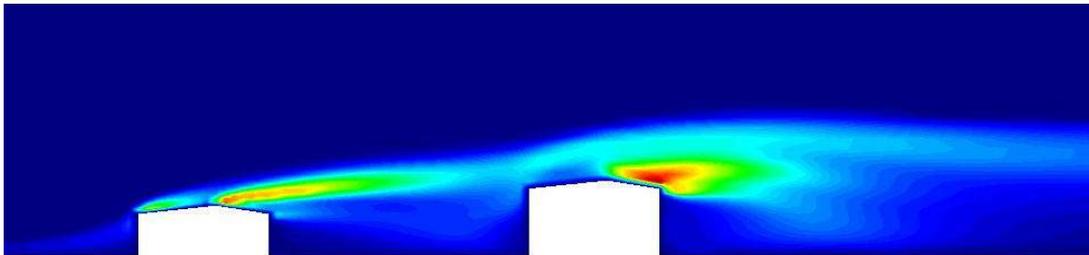


Figura 3: Energía Cinética Turbulenta ($v = 1.5 \text{ m/s}$ - modelo $k-\epsilon$)

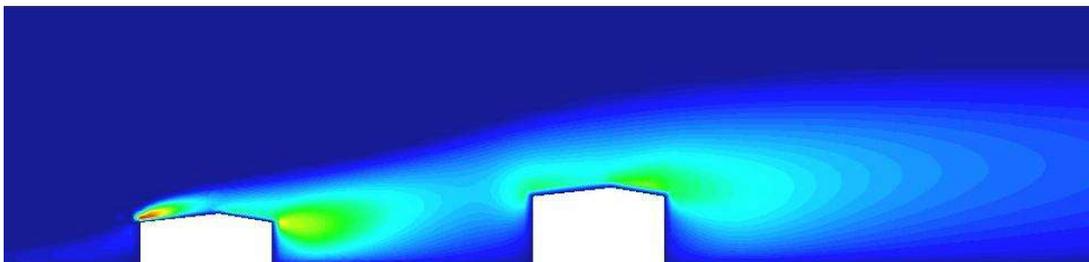


Figura 4: Energía Cinética Turbulenta ($v = 1.5 \text{ m/s}$ - modelo $k-\omega$)

En las figuras 5 y 6, se muestra la E_{ct} y los mismos modelos de viscosidad pero con velocidad $v = 5 \text{ m/s}$.

Otra variable importante a considerar en un flujo de fluido es la vorticidad. Se define la vorticidad como el rotor de la velocidad del fluido. De la misma manera que se definen las líneas de corriente se pueden definir las líneas de vorticidad. Una línea en el fluido cuya tangente en cualquier punto es paralela al vector vorticidad local, define una línea de vorticidad. La presencia de objetos sólidos en la corriente generan vórtices en todas las escalas que son arrastrados por el flujo medio.

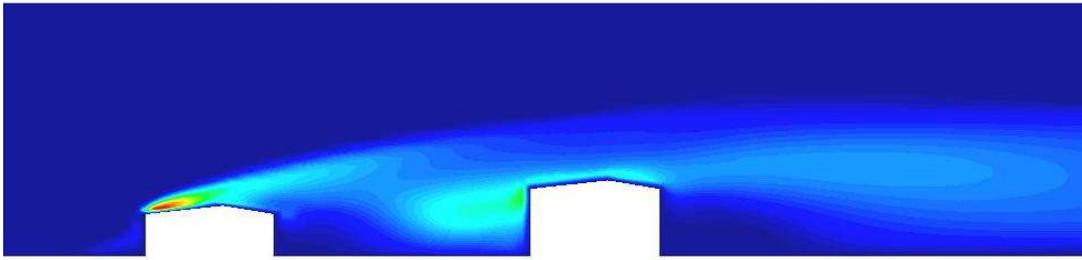


Figura 5: Energía Cinética Turbulenta ($v = 5 \text{ m/s}$ – modelo $k-\varepsilon$)

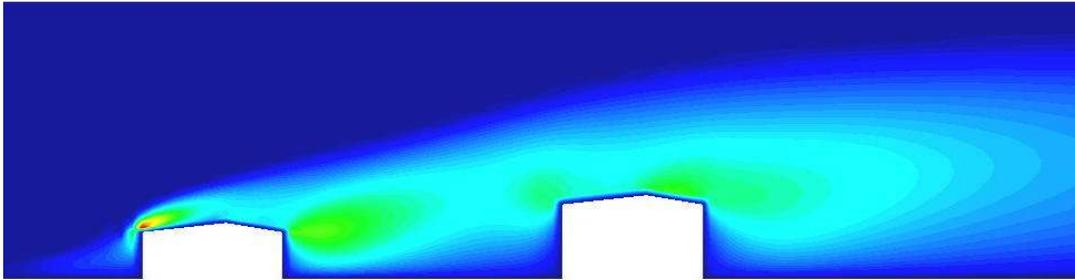


Figura 6: Energía Cinética Turbulenta ($v = 5 \text{ m/s}$ – modelo $k-\omega$)

Por otra parte hay que considerar que en el desarrollo de la turbulencia, los vórtices de mayor tamaño interactúan con el flujo principal y extraen energía de él. Sin embargo estos vórtices son inestables en sí mismos y por diversos efectos tienden a dividirse. Este rompimiento se produce en cascada.

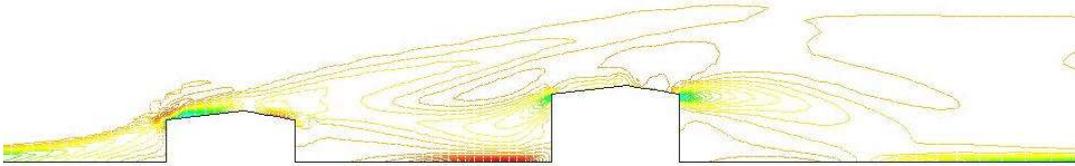


Figura 7: Líneas de Vorticidad ($v = 1.5 \text{ m/s}$ - modelo $k-\varepsilon$)



Figura 8: Líneas de Vorticidad ($v = 1.5 \text{ m/s}$ - modelo $k-\omega$)

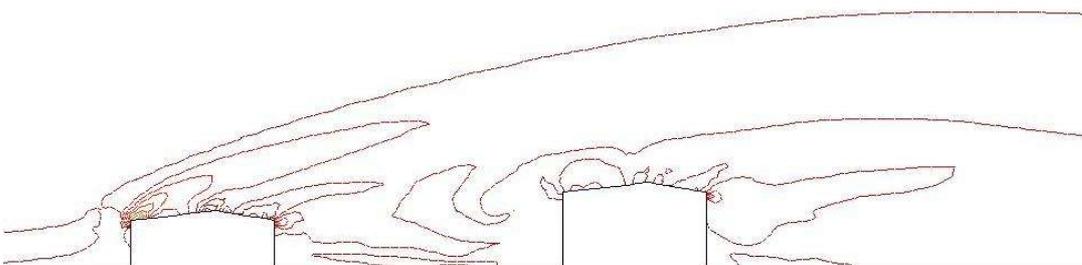


Figura 9: Líneas de Vorticidad ($v = 1.5 \text{ m/s}$ - modelo "mixing length")

El proceso de división puede continuar hasta que la escala de los vórtices es tan pequeña que el número de Reynolds de los mismos no es lo suficientemente grande como para que la inestabilidad persista. En los vórtices pequeños, la energía cinética contenida se transforma en energía térmica por disipación viscosa. En las figuras 7, 8 y 9 se pueden apreciar las líneas de vorticidad para los modelos $k-\epsilon$, $k-\omega$ y "mixing length" con una velocidad $v=1.5$ m/s, lo mismo para las figuras 10,11 y 12 pero con $v=5$ m/s.

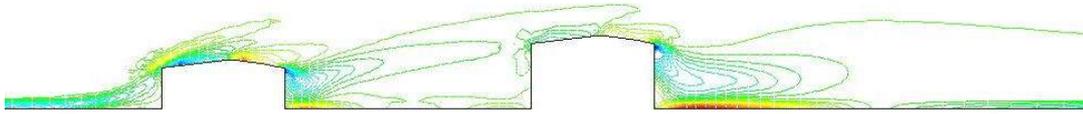


Figura 10: Líneas de Vorticidad ($v=5$ m/s - modelo $k-\epsilon$)

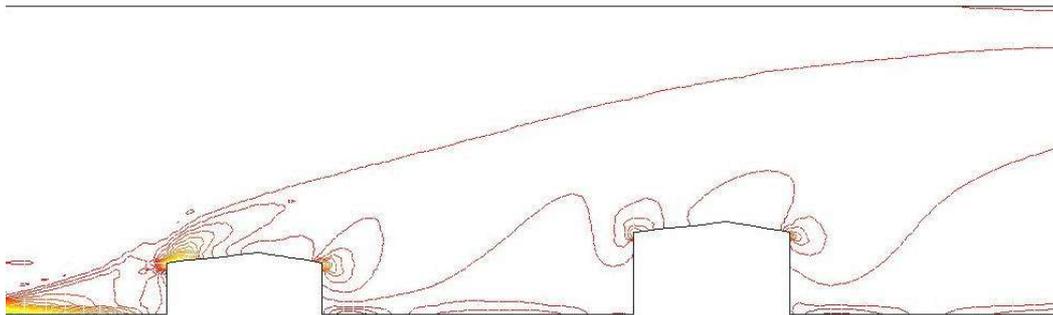


Figura 11: Líneas de Vorticidad ($v=5$ m/s - modelo $k-\omega$)

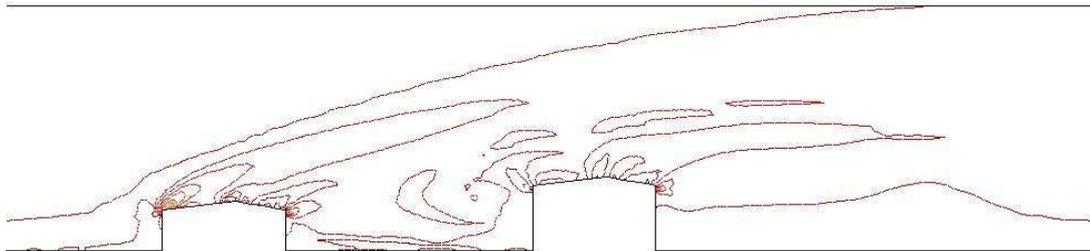


Figura 12: Líneas de Vorticidad ($v=5$ m/s - modelo "mixing length")

CONCLUSIONES

En el trabajo se han presentado los resultados obtenidos de la simulación numérica del viento pasante sobre dos viviendas, considerando un flujo incompresible en estado estacionario, para el caso bidimensional (2D). Las condiciones de contorno utilizadas en la simulación fueron del tipo Dirichlet (velocidad prescrita).

En el análisis de las figuras 3 a 6 para la energía cinética turbulenta, queda claro que cuando aumenta la intensidad del viento (mayor velocidad) hay un mayor desprendimiento, resultado que intuitivamente era de esperarse. En un análisis más detallado de las figuras, puede verse que el modelo $k-\epsilon$, predice menos difusión que el modelos $k-\omega$ para cada velocidad. Por ejemplo en el caso donde la velocidad es 5 m/s se ve de manera muy clara que la dispersión aguas abajo es mayor para el modelo $k-\omega$ que para el modelo $k-\epsilon$. Esto está en un todo de acuerdo con lo que se observa para las líneas de vorticidad para ambos modelos. En particular el modelo $k-\epsilon$, muestra líneas de vorticidad más concentradas, característica de vórtices pequeños frente al modelo $k-\omega$ con un diagrama de vorticidad más amplio, vórtices de mayor tamaño.

Independiente del modelo, lo que sí se puede apreciar claramente, es que las características del flujo que rodea a la segunda vivienda es completamente diferente a lo que sucede con el primer cuerpo.

Considerando el espacio entre ambos cuerpos, se observa claramente, en las mismas figuras, que la situación fluidodinámica en esta zona es muy compleja. Ambos modelos predicen, para el caso de la energía cinética turbulenta, una variación muy acentuada que inclusive llega a nivel del piso. Estas variaciones pueden traducirse en grandes gradientes de velocidad que inclusive pueden llegar a superar a la velocidad media del flujo incidente. En esta zona las figuras mostradas para la vorticidad predicen la existencia de muchos vórtices por lo tanto el flujo es bastante irregular.

El modelo $k - \epsilon$ es más preciso a la hora de calcular la vorticidad en el campo de flujo, hecho que se pone de manifiesto en la comparación de las diferentes figuras. Con respecto al modelo "mixing length" para ambas velocidades, predice mejor el desprendimiento de vórtices en las zonas superiores de las viviendas.

Esta diferencia sustancial en la predicción de lo que sucede aguas abajo, pone de manifiesto que la experimentación es la única herramienta para validar correctamente los algoritmos utilizados. En este sentido una propuesta para futuros trabajos es iniciar una campaña de mediciones en flujos alrededor de viviendas con el objeto de validar correctamente los programas utilizados.

Por otro lado, lo importante de los resultados obtenidos, es que se cuenta con una herramienta de diseño capaz de predecir ciertos resultados o el comportamiento del flujo que rodea un cuerpo lo que permite en el futuro prediseñar experiencias o estimar los fenómenos fluidodinámicos a los que estará sometido un prototipo a escala real.

Recordemos que un flujo de fluido es un fenómeno no lineal, por lo tanto cuando se implementa el método de elementos finitos, lo que se hace es linealizar las ecuaciones que lo representan, por lo tanto los resultados obtenidos son aproximados. El orden de aproximación está dado principalmente con la cantidad de elementos utilizados (malla de elementos finitos) además del método numérico propiamente dicho implementado para solucionar el sistema de ecuaciones. Hay que tener en cuenta también que la simulación numérica se implementó para tratar de visualizar fenómenos no lineales como los presentados, por lo tanto, este hecho, limita en alguna medida la exactitud de los resultados. A pesar de esta restricción el orden de aproximación es muy bueno.

La calidad del fenómeno mostrado, se basa entre otras cosas en que la malla de elementos finitos que se utilizó, se la consideró más densa (mayor exactitud de cálculo) en las zonas donde se deseaba una solución más precisa de la ecuación de Navier-Stokes o de valores derivados de la misma (por ej. energía cinética turbulenta, vorticidad, etc.)

En las figuras de las líneas de vorticidad se puede apreciar claramente que la primera vivienda, responsable de modificar las características del flujo, genera una perturbación que se transporta y amplifica aguas abajo y hace que las características del mismo para la segunda vivienda sean completamente diferentes. Esta diferencia en el flujo nos permite concluir además que muchos parámetros en la segunda vivienda deberán corregirse a la hora de realizar un cálculo determinado. Por ejemplo, aunque en este trabajo no se muestre, los coeficientes convectivos en la segunda vivienda que determinan la ganancia ó pérdida de energía de esta con respecto a la primera vivienda serán completamente diferentes. Por este motivo hay que tener en cuenta, a la hora de diseñar un determinado prototipo estas posibles variaciones en el flujo debido al entorno del prototipo.

BIBLIOGRAFIA

O. C. Zienkiewicz and R. L. Taylor (1989). El método de los elementos finitos. Mecánica de sólidos y Fluidos. Dinámica y no linealidad. - Fourth Edition - Vol 2 - Mc Graw Hill..

O. C. Zienkiewicz and R. L. Taylor (1989). The finite element method. - Fourth Edition - Vol 1 - Mc Graw Hill.

Hinze J. Turbulence. - Mc Graw Hill.

L. Quarnapelle - Birkhauser (1993). Numerical Solution of the incompressible Navier Stokes equations. International series of numerical mathematics - ISBN 0-8176-2935-1.

Molina, V. Salvo, N. (2003). Simulación en 2D del efecto de viento sobre una vivienda utilizando diferentes modelos de viscosidad. - AVERMA Vol.7 N°2 pags 8.127 – 132.

R.W. Bottcher, D. H. Willits, G. R. Baughman (1986). Experimental Analysis of Wind Ventilation of Poultry Buildings. - Vol 29(2) – American Society of Agricultural Engineers.

N. Salvo, I. De Paul (1998) "Aerodinámica de cuerpos romos con geometría similar a la de un destilador solar" Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente.

ABSTRACT:

In the present work are the obtained results of a numerical simulation in 2D for a turbulent flow in which two profiles of houses oriented throughout the current are considered. For the numerical solution of the equations that they describe the phenomenon was used a code in FORTRAN, that implements the method of finite elements (MEF). Different speeds from the incident flow in addition to different models from viscosity with the intention of being able are considered to compare results.

Keywords: 2D simulation, finite elements, fluid mechanics.