

MODELIZACION Y SIMULACIÓN DE UN FLUJO DE FLUIDO A TRAVES DE UN OBSTACULO

N. Salvo, I. De Paul

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 - depaul@unsa.edu.ar

RESUMEN: En el presente trabajo se muestran los resultados obtenidos a partir de una simulación numérica. Se realizan diversas hipótesis con respecto al flujo y al orden de aproximación de los valores numéricos obtenidos. En una segunda etapa se analiza la misma situación pero repitiendo los cuerpos a lo largo de la corriente fluida. Para la simulación numérica se utilizó un código programado en Fortran (programa FANTOM) y el fenómeno físico bajo estudio se discretizó utilizando el método de los elementos finitos.

Palabras claves: simulación, elementos finitos, mecánica de fluidos

INTRODUCCIÓN

Realizar un ensayo experimental, ya sea a escala real o a nivel de prototipo, solo proporcionaría información para un modelo determinado, o sea una dada geometría y ciertas condiciones en particular. Para poder considerar y evaluar como influyen las diferentes formas de los cuerpos o las variaciones en las condiciones del flujo se debería contar con una colección de ensayos bastante grande. Esto supondría un costo elevado en lo que se refiere al diseño del ensayo experimental y a la implementación del mismo. Por otro lado, el hecho de contar con un programa de simulación, nos permite realizar ensayos de distintas geometrías sin tener que construir materialmente diferentes modelos.

Considerando la mezcla de ambas técnicas (experiencia y simulación) y evaluando sus propias características podemos concluir que las dos se complementan muy bien, constituyendo una herramienta muy poderosa a la hora del diseño final. Para finalizar podemos decir que el rol que juega la parte experimental ya sea a través de un ensayo en un túnel de viento, en el caso de analizar flujos de aire o a escala real es la validación y afinamiento de las predicciones teóricas. Por otro lado, en cambio, la simulación numérica, está perfectamente indicada para el análisis de una amplia variedad de formas a fin de desarrollar un diseño que pueda considerarse óptimo.

También hay que resaltar el hecho de que la simulación numérica permite el estudio de formas y situaciones que de implementarse en forma realista no podrían ser modificadas con igual facilidad en un estudio experimental. Es interesante considerar la idea de utilizar ambas técnicas en forma paralela, con lo cual la simulación numérica permitirá la planificación de ensayo experimental y pequeñas variaciones (predicción), como también una posible interpretación de los resultados obtenidos.

En particular el programa de simulación (FANTOM) se basa en el cálculo numérico de las ecuaciones de Navier Stokes. Dichas ecuaciones, conforman un sistema de ecuaciones diferenciales las cuales se resuelven numéricamente a partir del método de los elementos finitos. Aunque en el presente trabajo no se contemplan situaciones transitorias es importante destacar que el programa permite realizar este tipo de simulaciones. Además contempla que la integración en el tiempo pueda ser realizada a partir de diferentes esquemas en diferencias finitas. El módulo FANTOM, incluye el tratamiento de flujos turbulentos, donde son posibles varios modelos de turbulencia. En lo que respecta al tensor de esfuerzo de Reynolds, este puede ser evaluado a partir de la hipótesis de Boussinesq.

Considerando la técnica de resolución por el método de los elementos finitos, la región del espacio de interés se divide (discretiza) en una serie de celdas (elementos). Estos elementos, en 2D o en 3D, en su conjunto se los denomina "malla". Esta malla no será en general uniforme en todo el dominio de trabajo, sino que podrá ser mas tupida (elementos más pequeños) en las zonas donde se desee más exactitud en el cálculo. Por lo general y en el caso de mecánica de fluidos estas zonas son donde el flujo presenta mayor irregularidad o donde las condiciones físicas del fluido varían más rápidamente, por ejemplo la velocidad del fluido que se esté analizando, que sería el caso donde el flujo choca contra un borde sólido.

EL PROGRAMA DE SIMULACIÓN

FANTOM, es un código de elementos finitos, que permite la simulación numérica para problemas donde intervienen flujos de fluidos. No solamente permite simular diversas variables del flujo, sino también se puede utilizar en problemas donde hay transferencia de calor desde elementos sólidos al fluido.

En lo que respecta a las técnicas numéricas, se puede optar tanto por interpolaciones donde la presión se supone continua como discontinua en el elemento, además de poder utilizar técnicas de estabilización. En el caso de utilizar integración en el tiempo, las mismas pueden ser evaluadas empleando diversas técnicas de estabilización.

El código FANTOM, esta programado en Fortran y puede ser empleado para simular materiales no lineales, 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 presente trabajo, se utilizó FANTOM en forma conjunta con GID, el cual es un pre y post-procesador para elementos finitos. Los resultados de salida de FANTOM, fueron procesados con un programa auxiliar, para convertir los datos de forma tal que puedan ser utilizados por GID.

Los datos de entrada de FANTOM, se implementan en un archivo en el cual se deben especificar ciertas variables en diferentes blocks. Los blocks más importantes para destacar son: PHYSICAL_PROBLEM, MESH_DATA, FIXITY_CONDITIONS, NUMERICAL_TREATMENT, OUTPUT_&_POST_PROCESS

En el primer block PHYSICAL_PROBLEM, se define prácticamente cuales son las variables que el programa utilizará y que ecuaciones empleará en el análisis de la situación física planteada. En el segundo block MESH_DATA, deben incorporarse todos los datos referentes a la geometría y malla de elementos finitos, por ejemplo: dimensión del problema (2D o 3D), tipo de elemento, contornos, coordenadas de los nodos, etc. Cuando se especifican las FIXITY_CONDITIONS, se debe estipular cuales son las condiciones de contorno en ciertos nodos, es decir, se debe especificar no solo si las condiciones son del tipo Neumann o Dirichlet, sino también si hay cambios en los sistemas de referencia para algunos nodos en particular. Estos nodos serán aquellos donde su normal no este definida claramente, por ejemplo ángulos en la geometría, etc. En el block NUMERICAL_TREATMENT, esta incorporado todo el tratamiento numérico donde se especifica el tipo de solución que se empleará para el sistema de ecuaciones. Por último en el módulo OUTPUT_&_POST_PROCESS, se debe especificar cuales son las variables que el usuario desea evaluar. Los valores de estas variables, que son los valores correspondientes que toma cada nodo en la malla de elementos finitos pueden verse después de ser procesados correctamente con un post-procesador, en este caso se utilizó GID para tal fin.

RESULTADOS OBTENIDOS Y PREDICCIONES

El programa descrito anteriormente se ejecutó para diferentes situaciones, para ajustar los diferentes parámetros físicos que intervienen en el fenómeno bajo estudio. La geometría se procesó con GID al igual que el postproceso. Se implemento una malla estructurada con elementos triangulares. La decisión de utilizar estos elementos fue tomada en base a la bibliografía consultada.

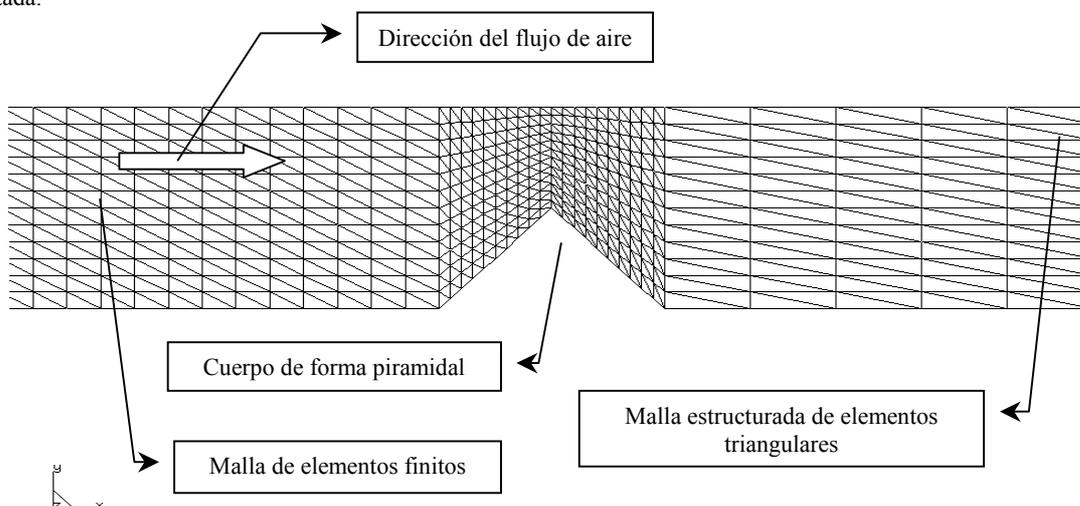


Figura 1: Geometría utilizada y malla de elementos finitos.



La geometría utilizada es muy sencilla y se muestra en la figura1. Se utilizó esta geometría ya que se contaba con datos experimentales para la misma, por lo tanto se podría comparar los resultados. Estos datos experimentales se presentaron en una reunión anterior (N. Salvo y I. De Paul , 1998). En la misma figura se puede observar una parte de la malla de elementos finitos utilizada. Es claro que en la zona donde se desea una mayor aproximación en el cálculo, se consideraron elementos más pequeños. En este caso en particular, son elementos lineales, aunque se pueden implementar elementos de orden superior.

En la figura 2 se muestra como se comporta el flujo cuando pasa el objeto bajo estudio en un diagrama vectorial. Está claro que si bien el flujo que incide sobre el cuerpo es turbulento, por las condiciones que se impusieron, después de encontrarse con el objeto piramidal, sigue comportándose en forma turbulenta pero ahora la presencia de vórtices es mucho más clara y notable. Este fenómeno de generación de vórtices aguas abajo también puede visualizarse a partir de la experiencia si se analiza con cuidado como varían las tensiones de Reynolds en puntos cercanos al borde sólido del cuerpo. Recordemos que

las tensiones de Reynolds son las responsables en primera instancia de la generación de vórtices, los cuales son arrastrados aguas abajo por el flujo medio. La simulación numérica arroja un resultado en el mismo sentido.

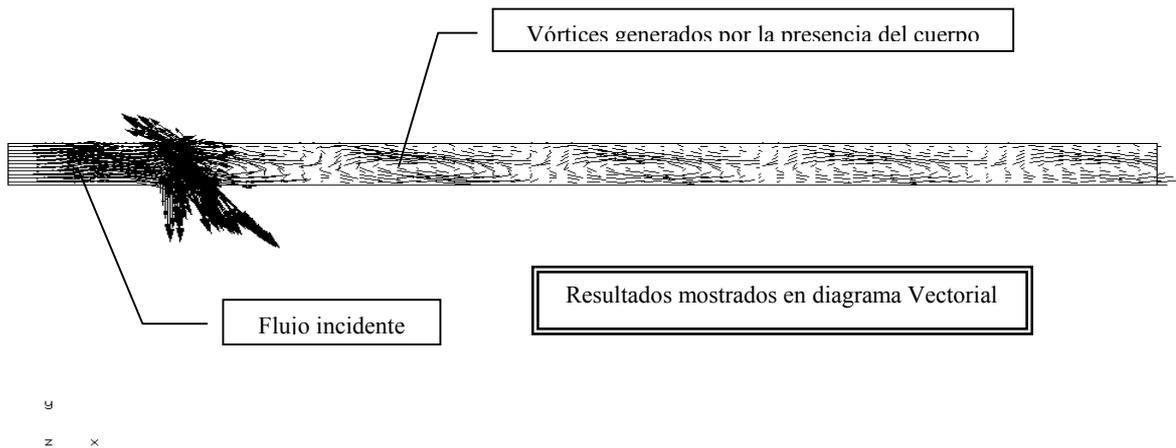


Figura 2: Diagrama vectorial del comportamiento del flujo hacia atrás del cuerpo.



En la figura 3, se amplió la zona cercana al cuerpo, en la misma se esquematizan los valores de velocidad, pero no se utiliza el diagrama de vectores, si no que se usa la opción de GID, CONTOURN FILL. En esta figura las zonas mas claras son las de mayor velocidad decreciendo los tonos más oscuros. A partir de la figura puede deducirse que la velocidad aumenta en el extremo del cuerpo y luego disminuye aguas abajo. Además también se observa en la misma figura como cambia la velocidad media del flujo por efecto de encontrarse el cuerpo en la corriente fluida.

Este fenómeno de aumento y cambio de signo de velocidad en la parte superior del cuerpo hace que se formen vórtices los cuales son arrastrados por el flujo medio aguas abajo. Esta misma geometría se utilizó para correr el programa FANTOM, pero ahora el cuerpo se mantiene a una temperatura fija. Para el programa de simulación los valores de temperatura se utilizaron en grados Kelvin. La figura 4 muestra el postproceso para esta situación.

Las zonas de la figura donde los colores son mas intensos son los lugares de mayor temperatura. Esto coincide en una primera instancia con lo que se deduce de la parte experimental. Si bien en el caso de la simulación el fenómeno que se considera es estacionario, puede deducirse que en este caso la variación de la temperatura es hacia atrás del cuerpo. Además los nodos que se encuentran por atrás del cuerpo son los que adquieren mayor temperatura y por sobre todo los que se encuentran inmediatamente después del objeto.

Una posible explicación de los resultados arrojados por la simulación numérica es que si bien el flujo es turbulento no existe un mezclado perfecto aguas abajo, por lo tanto se generan estas zonas donde existe una diferencia de temperatura. Si ahora se comparan la figuras donde se muestra de que forma es el flujo considerado isoterma y cuando el cuerpo se encuentra a una dada temperatura, podemos ver que los vórtices son los responsables de la forma particular que tiene el post proceso el caso del cuerpo calentado a una dada temperatura.

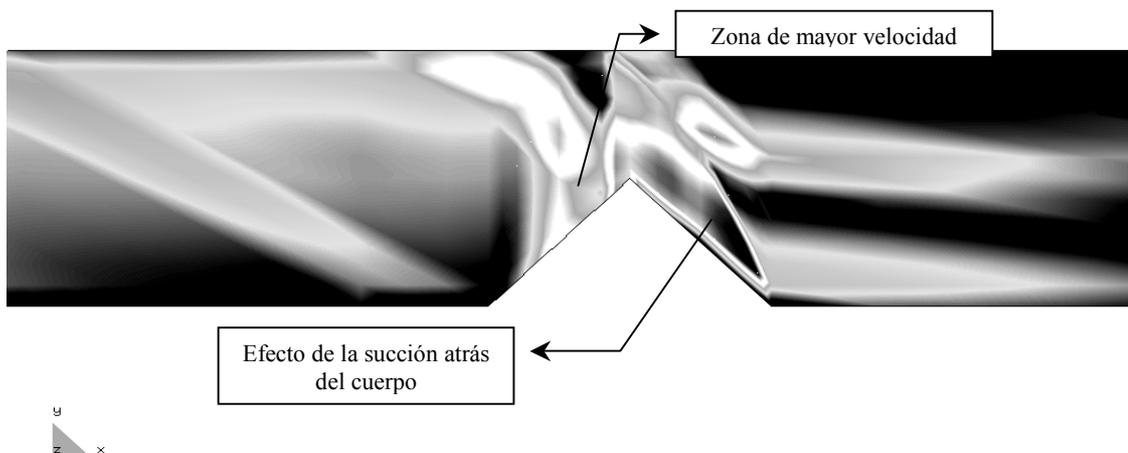


Figura 3: Comportamiento del flujo en opción Contourn Fill.



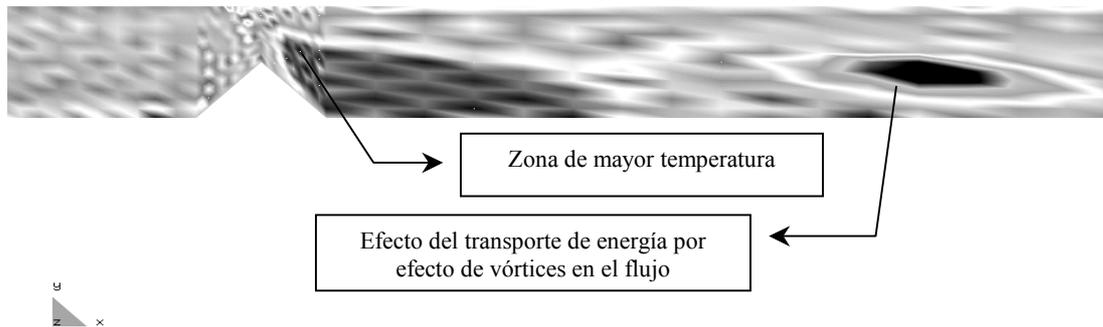


Figura 4: Post - proceso en el caso del cuerpo calentado a una dada temperatura.



Este fenómeno es interesante en el sentido de que cuando uno trata de evaluar la pérdida de energía por efectos convectivos, la característica del flujo tiene un rol importante ya que los fenómenos turbulentos modifican el coeficiente de transferencia térmica. Además podemos decir que los vórtices son los principales agentes, dentro del flujo, del transporte de energía y de hacer variar dicho coeficiente convectivo. Por otro lado por ser estructuras que se repiten en forma periódica en el flujo aguas abajo, la variación en el fenómeno de transferencia de calor, se transmite a todo el flujo en general.

En un segundo paso, para la simulación se probó repetir la geometría a lo largo de la corriente fluida. El principal objetivo es ver de que forma varía el comportamiento del flujo cuando el cuerpo se repite. Se consideraron diferentes separaciones de los cuerpos. Solo se muestra la que resultó óptima en lo que respecta al análisis del flujo. O sea si los cuerpos están muy juntos no hay casi influencia entre ellos, pues desde el punto de vista del flujo es como un solo cuerpo. Por el contrario si están muy separados es como si fueran objetos aislados en una corriente fluida o dicho de otra forma uno influye muy poco sobre el otro.

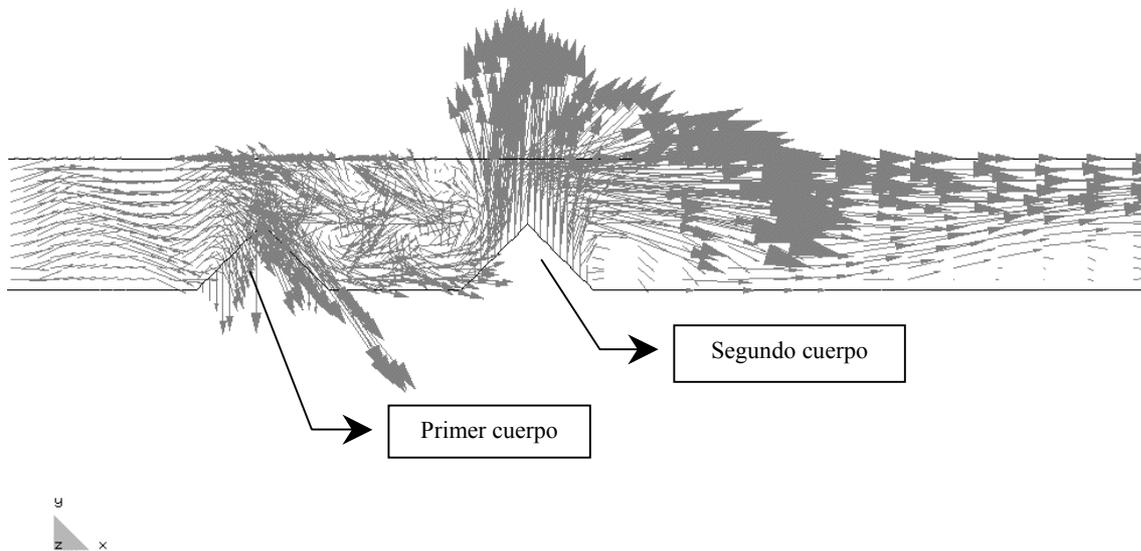


Figura 5: Diagrama vectorial en el caso de simular dos cuerpos colocados en el flujo.



En la figura 5, puede observarse en un diagrama vectorial como varía la velocidad media a lo largo del túnel. Si se compara esta figura con la obtenida para un solo objeto, podrá rápidamente concluirse que la influencia de los dos cuerpos en el flujo hacia atrás de los mismos es muy importante.

En la figura 6 se amplió la zona por detrás de ambos cuerpos y en este caso puede observarse en comparación con la situación de un solo cuerpo, que las características del flujo son muy diferentes aguas abajo. El patrón de flujo con dos cuerpos se modificó drásticamente. Comparando ambas situaciones se verá que en los dos casos el flujo contiene vórtices que son arrastrados aguas abajo, la diferencia radica en el tamaño de los mismos.

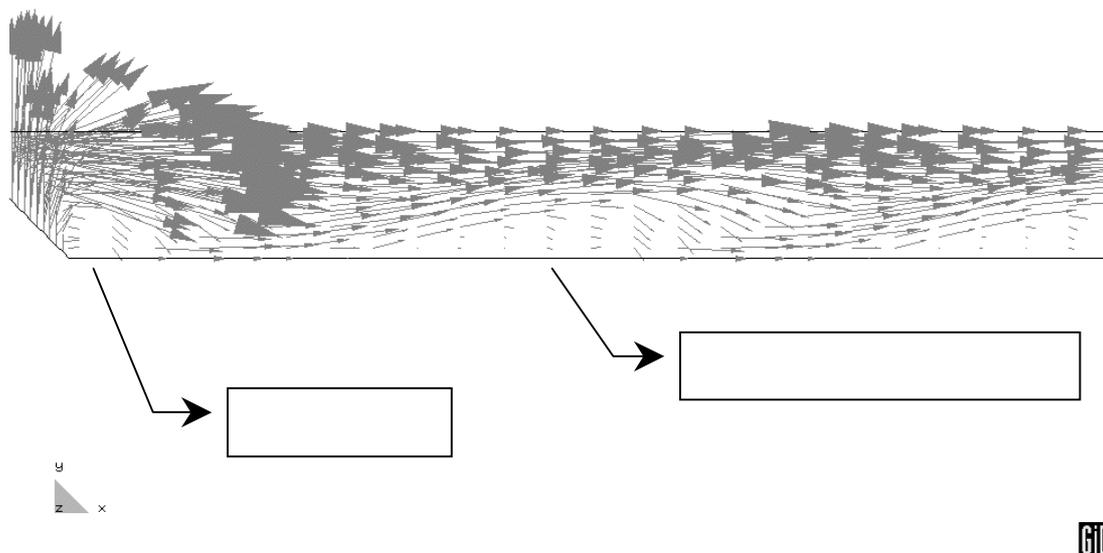


Figura 6: Diagrama vectorial en la zona posterior al segundo cuerpo.

Además si centramos nuestra atención en la zona intermedia entre los dos cuerpos podemos observar que el flujo es bastante caótico. Lo que se traduce en que las condiciones en esta zona son muy variables y muy difícil de predecir. Por lo tanto puede verse que las condiciones del primer cuerpo son muy diferentes a las condiciones del segundo.

CONCLUSIONES

Recordemos que la ecuación de Navier-Stokes es una ecuación no lineal, por lo tanto cuando uno simula un fenómeno de esta naturaleza, a la hora de analizar los resultados obtenidos debe tener en cuenta cuál es la herramienta utilizada para este propósito y cuales son sus limitaciones. En nuestro caso en particular, si bien la viscosidad se mantuvo constante, (esto tomado como aproximación) las variaciones del flujo medio hacia atrás del cuerpo, pueden verse claramente. Esto confirma la principal característica de los fenómenos en los que intervienen flujos de fluidos, los cuales son no lineales y que la no linealidad del fenómeno hace que una pequeña perturbación se transporte y amplifique.

Esto último con respecto a la simulación numérica, si ahora nos centramos en el problema experimental, deberíamos decir que la implementación de cualquier técnica experimental debe considerar el problema no lineal del fenómeno a medir. Con esto se quiere ejemplificar que un aspecto a resaltar en los valores obtenidos es que los mismos están correlacionados espacialmente. Lo cual significa que toda perturbación o situación en particular que suceda en un punto dado del flujo, es transportada por el flujo medio e influye en otro punto del fluido. Por lo tanto una forma de medir sería tomar muchos valores en una dada región del flujo y correlacionarlos tanto espacialmente como temporalmente. Esto significaría tener datos del flujo dispersos en el tiempo y en el espacio, lo que nos daría una visión más realista del fenómeno que se está estudiando.

En lo que respecta a la malla utilizada para realizar la simulación numérica, podemos aclarar que si bien solo se trabajó con elementos finitos triangulares, en una malla estructurada, se podría haber utilizado otros tipos de elementos, pero el objetivo principal del trabajo no era la de verificar o comparar distintas aproximaciones entre elementos finitos para un problema dado, sino por el contrario, la de tratar de reproducir los resultados experimentales. Para este propósito, y a partir de la bibliografía consultada se tomó la decisión de utilizar elementos triangulares lineales.

Los resultados obtenidos en particular, confirman para la transferencia de energía en flujos turbulentos y sus variaciones son de mayor importancia que los fenómenos moleculares, esto puede explicarse a partir de que en este tipo de flujos las variaciones del coeficiente de transferencia térmica son de mayor orden que en otro tipo de flujos. A partir de la bibliografía que hay al respecto, se puede decir que dado el orden de las propiedades del flujo en este tipo de régimen en lo que respecta a los fenómenos de transporte y mezclado, las variaciones son mucho más significativas cuando aumenta la intensidad de la turbulencia.

Un hecho importante que hay que destacar es que la naturaleza aleatoria del flujo influye en las propiedades del fluido, ya sea que se esté analizando la transferencia de energía o de momento. Recordemos que en esta clase de flujos, ésta es la característica más sobresaliente y por lo tanto las condiciones físicas del fluido varían punto a punto muy rápidamente. Se puede deducir y la simulación lo confirma que hay ciertas estructuras que se generan en bordes sólidos dentro del flujo, y que estas se transportan aguas abajo, conforme son arrastradas por el flujo medio. Estas estructuras periódicas, las cuales mantendrían una cierta periodicidad, hacen que el estudio de este tipo de flujos y por ende su simulación pueda ser llevada a cabo bajo ciertos órdenes de magnitud.

Si se analiza lo obtenido en la parte de predicción o sea en nuestro caso, cuando dos cuerpos de igual geometría se encuentran inmersos en el flujo, se concluye rápidamente que las características del flujo para el segundo cuerpo no son las mismas que para el primero, por lo tanto todos los valores de los coeficientes de conductividad térmica y de momento tendrán valores diferentes para zonas cercanas al primer cuerpo que para el segundo. Esto puede ser aplicado en el caso de tener viviendas dispuestas en una zona determinada y con un patrón de viento dado. Las viviendas que se encuentran adelante en el flujo se comportarán térmicamente de una determinada forma, mientras que las segundas estarán sometidas a otras características del flujo y por ende las variaciones de los coeficientes serán diferentes. Esto último también puede ser aplicado en el caso de que exista una repetición de cuerpos de más de dos en la corriente fluida.

ABSTRACT

Phenomena of mixing and diffusion in turbulent flows are governed by great scale vortex generation. Shallow flows are sensible to different perturbations, so the boundary layer structure depends, among other parameters, on the geometric characteristics of surfaces near the separation point. In this paper results of a numeric simulation are shown. First, both several hypothesis on the flux and the order of approximation of the numeric values obtained by the simulation are assumed for a particular body across the flow. Later on, the same situation with two equal bodies along the flowing is studied. The simulation uses a fortran program code (FANTOM) and the physics phenomenon is analysed by the finite elements method.

BIBLIOGRAFIA

O. C. Zienkiewics 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. Zienkiewics 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.

R. Codina (1993) "A finite element formulation for viscous incompressible flow". - Monografía CIMNE.

R. Codina (1993) "A finite element formulation for the numerical solution of the convection - diffusion equation". - Monografía CIMNE.

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.