

Dinámica de fluidos computacional para el análisis de sistemas de interés práctico que incluye el movimiento de fluidos

William Vicente y Rodríguez y Martín Salinas Vázquez

En los últimos años, la Dinámica de Fluidos Computacional (Computational Fluid Dynamics, CFD) se ha convertido en una herramienta útil en el análisis de sistemas de interés práctico, que incluyen fenómenos físicos y químicos involucrados con el movimiento de fluidos; con tales fenómenos se puede transferir masa, cantidad de movimiento, energía y especie química (que puede reaccionar o no) de una región a otra, o de un tiempo inicial a otro tiempo. Este auge se ha debido en parte, a que cada día se tienen equipos de cómputo cada vez más grandes en capacidad (memoria y rapidez) y con menor costo, así como de algoritmos y modelos que pueden representar de manera confiable los fenómenos presentes en el flujo de fluidos del sistema a analizar. Además, de que el análisis con esta herramienta puede ser más económico que el trabajo experimental, tanto en tiempo como en recursos económicos. Sin embargo, su uso sigue siendo mayoritariamente complementario, ya que, en determinado momento, se tienen que validar las predicciones con datos experimentales o hacer una verificación con datos de correlaciones, ya que no siempre se puede tener mediciones detalladas de parámetros físicos y químicos del sistema.

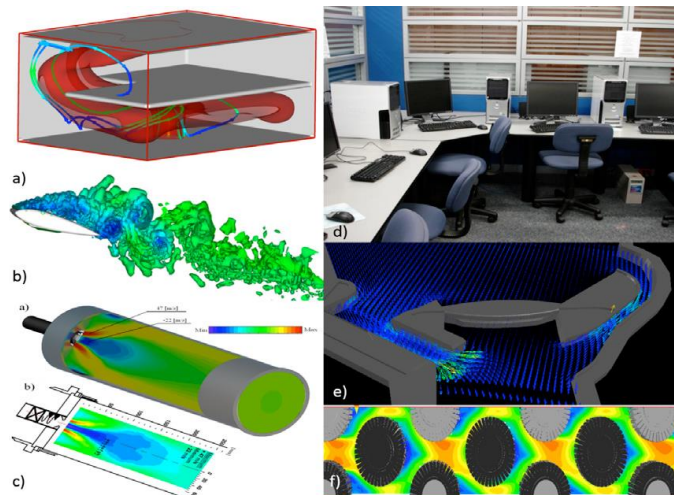


Figura 1. Simulaciones numéricas del grupo: a) Flujo de humo en casa, b) Flujo alrededor de una ala, c) Flujo bifásico en bombas, d) Laboratorio, e) Flujo en obra hidráulica, Tabasco, f) Flujo alrededor de tubos aletados.

Para simular el flujo, básicamente se tienen tres alternativas: Simulación Numérica Directa (Direct Numerical Simulation, DNS); Simulación de Grandes Escalas (Large Eddy Simulation, LES); y Ecuaciones Promediadas o Modelos de Turbulencia (Reynolds Average Navier-Stokes Equations, RANS), las cuales se describen brevemente a continuación.

La DNS consiste en discretizar directamente las ecuaciones instantáneas que gobiernan el movimiento del flujo, válidas tanto para flujo laminar como para flujo turbulento, y resolverlas numéricamente. La discretización resuelve todas las escalas espaciales y temporales de las variables del flujo, por tanto, no requiere de ningún modelo adicional. En un flujo turbulento no reactivo para capturar todas las escalas, el número de puntos de la discretización es función prácticamente del Número de Reynolds elevado al cubo, por lo que la DNS, generalmente se limita a flujos con Reynolds bajos y configuraciones sencillas.

La técnica de LES resuelve las ecuaciones instantáneas para las escalas de mayor tamaño que son más efectivas en el transporte de propiedades en comparación con las escalas menores que son más débiles y de menor capacidad de transporte. Las pequeñas escalas son filtradas y el efecto sobre el movimiento de las grandes escalas es modelado. Aunque esta técnica es menos exigente que la DNS, requiere de medios de computación considerables debido a que los tiempos de cálculo son exigentes por ser siempre un cálculo tridimensional y temporal.

La simulación con RANS, extensamente utilizada en casos prácticos de interés industrial, tiene una aproximación estadística para que el análisis de la turbulencia sea estacionario, es decir, que sus propiedades no cambien con el tiempo y son determinadas por condiciones de frontera. Esta técnica consiste en promediar todas las escalas espaciales y temporales de las fluctuaciones turbulentas, así como resolver las ecuaciones de transporte en términos de variables medias del sistema. Las ecuaciones no son cerradas y por consecuencia, se requieren modelos adicionales (modelos de turbulencia) para cerrar el sistema. La alternativa RANS es de menor exigencia computacional en comparación con DNS y LES.

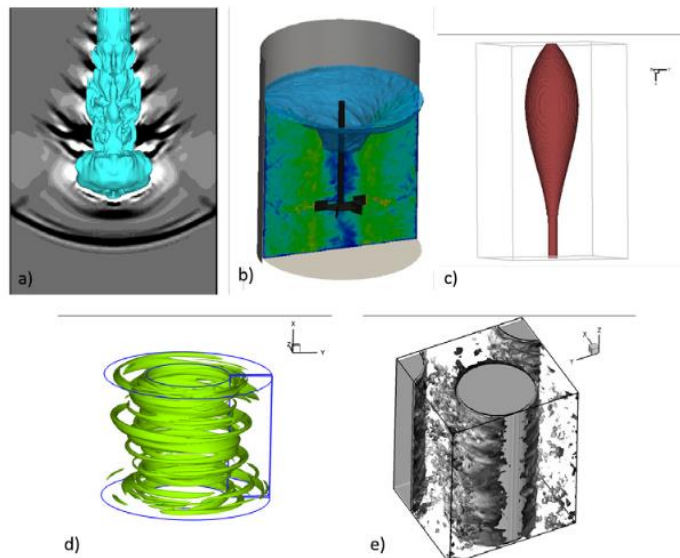


Figura 2. Simulaciones numéricas del grupo: a) Flujo de agua a alta velocidad creando ondas de choque a su alrededor, b) Flujo bifásico en un mezclador, c) Flujo dentro de la faringe, d) flujo entre dos cilindros concéntricos, y e) Flujo alrededor de tubos circulares.

Aun con la alternativa RANS, los casos de interés práctico tienen escalas industriales, que junto con una geometría compleja, van a hacer que se requiera de un número grande de nodos en la malla que discretiza el sistema, que tendrá como consecuencia un tiempo de cálculo elevado si se procesa con un equipo de cómputo que trabaja en modo secuencial. También, en estos últimos años se han estado desarrollando algoritmos que permiten hacer operaciones de cálculo con equipos de cómputo que trabajan en paralelo; es decir, las operaciones a realizar son divididas entre cada uno de los componentes del sistema de cómputo, que tiene como resultado menor tiempo de procesamiento.

La simulación numérica, básicamente se lleva a cabo mediante los siguientes pasos: Selección y discretización del sistema en subdominios; aplicación de las ecuaciones que gobiernan el movimiento del fluido en los subdominios, que da como resultado un sistema de ecuaciones cuasi-algebraicas; colocación de las condiciones iniciales y de frontera; solución de las ecuaciones cuasi-algebraicas; y tratamiento y análisis de las predicciones numéricas.

En la Coordinación, los doctores Martín Salinas y William Vicente, junto con un equipo de estudiantes que llevan a cabo sus tesis de licenciatura, maestría y doctorado, así como de especialistas que realizan estancias posdoctorales, hacen análisis de Dinámica de Fluidos Computacional en flujos interesantes, utilizando las alternativas LES o RANS, usando códigos numéricos propios y comerciales. Las simulaciones numéricas se llevan a cabo en los equipos de cómputo de la Unidad de Dinámica de Fluidos Computacional, y en el servidor TONATIUH, donde, se aprovechan los algoritmos de paralelización para hacer simulaciones de flujos que en equipos comunes podrían tardar, incluso años de tiempo de cómputo. En la mayoría de los casos, estos análisis van acompañados con la validación de datos experimentales o con la comparación con datos de correlaciones.

Algunas líneas de investigación en las que se ha trabajado son:

- Combustión

Inyectores, quemadores y mezclas.

- Hidráulica

Ríos, lagos y estructuras hidráulicas.

- Contaminación de aire y agua

Accidentes industriales, distribución de contaminantes en tuberías y cuerpos de agua.

- Diseño de casas

Ventilación, incendios y diseño ecológico.

- Transferencia de calor

Intercambiadores de calor, convección natural y forzada.

- Flujo bifásico

Bombas, cavitación en tubos venturi y con otras geometrías.

Finalmente, los últimos estudios que se están haciendo incluyen análisis de entropía, gracias a ellos en un futuro se podrán desarrollar equipos térmicos que permitan aprovechar la energía de manera óptima.