

CI 31A - MECANICA DE FLUIDOS

Prof. Aldo Tamburrino

NOCIONES SOBRE TEORIA DE LA TURBULENCIA

Introducción

A través del curso hemos hablado a menudo de dos regímenes de escurrimiento con características propias bien definidas: el régimen laminar y el régimen turbulento. Hasta ahora, se ha presentado a grandes rasgos las diferencias entre los dos regímenes, los que se han visualizado en la experiencia de laboratorio "Experimento de Reynolds".

Hemos indicado a menudo en el curso que el problema de escurrimiento laminar está resuelto, al menos formalmente. La única dificultad que subsiste es nuestra ignorancia matemática, la que no nos permite resolver las ecuaciones de Navier-Stokes para cualquier condición de borde y/o inicial. Hemos indicado, además, que gran parte de la dificultad para resolver las ecuaciones diferenciales de momentum radican en la presencia de los términos no lineales $\vec{V} \cdot \nabla \vec{V}$ que aparecen en dichas ecuaciones. La ecuación de continuidad más las tres ecuaciones de Navier-Stokes forman un sistema de ecuaciones diferenciales con cuatro incógnitas: la presión p y la velocidad (u , v , w). Dadas las condiciones de borde e inicial, podemos obtener soluciones independientes del tiempo (en el caso permanente), o soluciones que son funciones del tiempo y cuyo comportamiento podemos predecir para cualquier t , en la situación impermanente.

Por el contrario, los flujos turbulentos se caracterizan porque tanto las componentes de la velocidad como la presión están continuamente variando en el tiempo, aún cuando las condiciones de borde permanezcan constante en sus valores medios temporales. Más aún, esta variación es, desde el punto de vista práctico, impredecible.

La variación continua con el tiempo de las propiedades del escurrimiento ha llevado a una descripción estadística del escurrimiento en términos de cantidades medio temporales.

Dada la complejidad de los flujos turbulentos, una buena parte del conocimiento que nosotros tenemos de ellos ha sido obtenido a través de la experimentación. Es a través de la experimentación, ya sea a través de técnicas de visualización de flujo o de mediciones directas de las variables de interés, que podemos obtener una descripción general de los procesos que ocurren en los escurrimientos turbulentos. Esto no significa que no se hayan desarrollado teorías o que ellas sean de poco valor, sino que el análisis teórico indica cuáles son las variables que son de utilidad y requieren ser medidos. Como en toda rama de la ciencia, la interacción entre teoría y experimentación existe y se apoyan mutuamente, los resultados de una permitiendo el desarrollo de la otra.

Definición de Turbulencia

Hasta ahora, no existe una definición de turbulencia que la describa completamente.

De acuerdo a Hinze (1979), Taylor y von Kármán la definieron como "un movimiento irregular que en general hace su aparición en fluidos, líquidos o gaseosos, cuando ellos fluyen cerca de superficies sólidas o incluso cuando corrientes vecinas del mismo flujo pasan cerca o una sobre la otra".

De acuerdo a esta definición, la principal característica de la turbulencia es su irregularidad. Hinze (1975), propone la siguiente definición: "El movimiento turbulento de un fluido es una condición irregular del flujo en el que varias cantidades muestran una variación aleatoria en el tiempo y el espacio, de tal manera que pueden discernirse valores medios estadísticos precisos".

Esta definición tiene un par de consecuencias: estamos precisando que la variación debe ser espacio-temporal y que podemos estudiarla mediante un análisis estadístico.

Es muy difícil dar una definición de turbulencia, razón por la cual nos contentamos con dar características del escurrimiento turbulento.

De acuerdo a Tennekes y Lumley (1987) algunas de las características de los flujos turbulentos son:

Irregularidad: como se observa en la experiencia de Reynolds, la trayectoria de una partícula de fluido es muy irregular, haciendo prácticamente imposible el uso de enfoques determinísticos para abordar los problemas turbulentos, por lo que se utilizan métodos estadísticos de análisis.

Difusividad: los flujos turbulentos son altamente difusivos, haciendo que las tasas de intercambio de masa, momentum y energía sean muchísimo más altas que las que se tiene para flujos laminares. Desde el punto de vista de las aplicaciones, esta es la característica más importante de los flujos turbulentos.

Grandes números de Reynolds: los escurrimientos, turbulentos ocurren para números de Reynolds grandes. La turbulencia a menudo se origina debido a la inestabilidad del escurrimiento laminar cuando el número de Reynolds se hace muy grande.

Fluctuaciones tridimensionales de la vorticidad: la turbulencia es rotacional y tridimensional. Está caracterizada por una gran fluctuación de la vorticidad. Un importante mecanismo que mantiene la turbulencia es el denominado "alargamiento de los vórtices", por lo que las fluctuaciones turbulentas de vorticidad no podrían mantenerse por sí solas en flujos bidimensionales.

Disipación: los flujos turbulentos siempre disipan energía. El trabajo realizado por los esfuerzos viscosos al deformar un elemento de fluido aumenta la energía interna del fluido a expensas de la energía cinética turbulenta. La turbulencia necesita un suministro de energía continuo para mantener estas pérdidas viscosas. Si no hay un suministro de energía, la turbulencia decae continuamente.

Continuo: la turbulencia es un fenómeno continuo, gobernada por las ecuaciones de la mecánica de fluidos. Las escalas de longitud más pequeñas que pueden darse en un flujo turbulento son mucho más grandes que cualquier longitud a nivel molecular.

Turbulencia indica un tipo de flujo: la turbulencia no caracteriza un tipo de fluido sino un escurrimiento. Es por esto que las características más importantes de los flujos turbulentos no son controladas por las propiedades moleculares del fluido.