

Capítulo 1

Introducción a la turbulencia.

En el presente trabajo, se pretende realizar el estudio de las características de la turbulencia generada mediante dispositivos basados en matrices de chorros enfrentados, así como analizar su idoneidad a la hora de obtener turbulencia isótropa y homogénea con rangos inerciales amplios. Por tanto y para introducir al lector en esta materia, se realiza en este primer capítulo un breve repaso de algunos conceptos relacionados con la misma.

1.1. La turbulencia.

El problema de los movimientos turbulentos constituye uno de los desafíos más grandes de la Física, debido a su extraordinaria complejidad. Sin embargo, los movimientos turbulentos son muy comunes, tanto en la naturaleza (ríos, flujos atmosféricos,...), como en multitud de aplicaciones tecnológicas (flujos en conductos, aerodinámica de vehículos, turbinas...). De hecho, la mayor parte de los procesos tecnológicos en los que intervienen fluidos en movimiento, se caracterizan por la aparición de la turbulencia. Tanto es así, que dicho problema aparece en casi todas las ciencias experimentales y por supuesto en las Matemáticas. A pesar de esto, hoy en día no existe una teoría completa del fenómeno. La dificultad más importante radica, como se verá más adelante, en el hecho de que las ecuaciones de Reynolds, utilizadas para describir los movimientos turbulentos, no forman un sistema matemático cerrado (problema de cierre), sino que hay que recurrir a hipótesis adicionales, llamadas modelos de turbulencia, para obtener soluciones. Esto lleva a tener que utilizar la experimentación, no ya como fuente de comprobación, si no como

fuentes de datos para poder cerrar el problema planteado.

Actualmente, son diversos los niveles de modelización que se utilizan en el estudio de la turbulencia.

Así, el desarrollo de potentes ordenadores está facilitando, por ejemplo, la resolución directa de las ecuaciones de Navier-Stokes (DNS), sin promediados o aproximaciones, aunque eso sí, su uso se limita a geometrías sencillas a moderados números de Reynolds.

Por otro lado, dado que son los torbellinos mayores los más efectivos en el transporte de las propiedades del fluido, se está recurriendo a la simulación más exacta de los mismos (LES), mediante la resolución numérica de las ecuaciones de movimiento para las escalas grandes. El efecto de las escalas más pequeñas, se incluye en base a modelos que, debido a su homogeneidad e isotropía, son más simples. En los modelos más simples, se recurre a otro tipo de modelado basado en métodos estadísticos (RANS). Éstos toman como punto de partida las ecuaciones de Reynolds, que aparecen como promediado de las ecuaciones de Navier-Stokes.

Si bien todo el mundo tiene una noción intuitiva de lo que es la turbulencia, podemos intentar definirla de forma más precisa, aunque concisa, a través de las propiedades que la caracterizan.

Para empezar, podemos decir, que un flujo turbulento se caracteriza por su irregularidad. Ésta se manifiesta, por la aparición de fluctuaciones en las variables fluidodinámicas que le dan una apariencia aleatoria, a pesar de ser un fenómeno caótico.

Otra propiedad es su difusividad, ya que la turbulencia amplifica notablemente los fenómenos de transporte de masa, cantidad de movimiento y energía, gracias a las fluctuaciones.

También caracteriza a la turbulencia su carácter tridimensional. Esto es así, ya que aunque en las escalas mayores pueden existir preferencias por determinadas direcciones que confieran al movimiento apariencia unidireccional o plana, en las escalas pequeñas el movimiento es siempre tridimensional.

Además, los flujos turbulentos son siempre disipativos. La turbulencia, para mantenerse, va tomando energía del flujo principal y se invierte en la deformación de las partículas fluidas.

Por último comentar que este fenómeno aparece cuando el número de Reynolds

supera un valor crítico, ya que el efecto de la viscosidad es siempre estabilizante.

1.2. La inestabilidad como origen de la turbulencia.

La estabilidad se define, como la capacidad de un sistema de permanecer en un estado de equilibrio, ante pequeñas perturbaciones. En el caso de fluidos en movimiento, este sería el caso de un flujo laminar.

Sin embargo, cuando el número de Reynolds se hace suficientemente grande, los flujos laminares se hacen inestables. Así ante pequeñas perturbaciones, el flujo pasa de un estado de equilibrio a otro. Este nuevo estado es también inestable, por lo que el fluido volverá a evolucionar a otro, ante nuevas perturbaciones. De esta forma, al final, se alcanza el régimen turbulento, en el que conviven distintas escalas de vórtices, todos ellos inestables, que evolucionan de forma caótica. Esto quiere decir que partiendo de condiciones iniciales muy próximas, se llega a estados completamente distintos.

1.3. Escalas de turbulencia.

Cuando se desarrolla la turbulencia son los vórtices de mayor tamaño los que extraen energía del flujo principal. El tamaño de éstos es comparable a la escala del mismo y depende de cómo se genera la turbulencia.

Estos vórtices grandes, como se comentó anteriormente, son inestables y tienden a dividirse en otros más pequeños, por efecto de cortadura, o por interacción entre ellos. De esta manera tiene lugar un proceso en cascada, en el que van apareciendo vórtices cada vez menores. El proceso continúa, hasta que el tamaño del torbellino es tan pequeño que el Reynols no es lo suficientemente grande como para mantener la inestabilidad y la energía cinética del mismo se disipa, por los efectos viscosos, en forma de energía térmica.

Los torbellinos que aparecen, pueden agruparse en tres escalas.

Macroescala: Agrupa a los torbellinos más grandes. El número de Reynolds asociado a éstos será del mismo orden que el del flujo principal ($Re = UL/\nu$), donde U es la velocidad del fluido, L la longitud característica del sistema y ν la viscosidad cinemática del fluido. Las características de los mismos dependerán de las condiciones de contorno, y tienen carácter anisótropo.

Escala inercial: Estos son de tamaño menor que los anteriores, pero todavía no existe disipación de energía. Los torbellinos ya han perdido memoria de cómo fueron generados y el movimiento es isótropo. El número de Reynolds que tradicionalmente se asocia a estos casos, es $Re_\lambda = u\lambda/\nu$, donde λ , es un tamaño relacionado con las escalas pequeñas.

Escala disipativa: Es la escala más pequeña y en la que se produce la disipación. El número de Reynolds asociado a este rango $Re = u\eta/\nu$ (donde η es la escala de Kolmogorov que determina el límite del rango no disipativo) es de orden unidad.

1.4. Turbulencia isótropa y homogénea.

Cuando en un flujo turbulento no existen direcciones preferentes, es decir, cuando las propiedades estadísticas promediadas no varían bajo rotaciones del sistema de coordenadas o bajo reflexiones respecto a los planos coordenados, se dice que la turbulencia es isótropa. Si además, las características que describen al flujo turbulento permanecen invariantes al movernos por distintos puntos del flujo, entonces además la turbulencia será homogénea. La turbulencia isótropa y homogénea, es por tanto, la forma más simple de turbulencia, y es la que necesita menos ecuaciones y magnitudes para ser descrita.

Este tipo de turbulencia es sin embargo ideal y no se da realmente en la naturaleza. De todas formas, bajo ciertas condiciones, pueden darse situaciones en las que exista, de forma aproximada, isotropía. Por ejemplo, cuando existen zonas alejadas de contornos, como en el caso de los flujos atmosféricos.

Por otro lado, la teoría basada en las hipótesis de Kolmogorov, relativas a la cascada de energía, predicen que aún existiendo anisotropía en las escalas grandes, en las escalas pequeñas, el carácter de la turbulencia es fuertemente isótropo (isotropía local). Esto permitiría aplicar los resultados del estudio de la turbulencia isótropa, a fenómenos turbulentos reales, dominados por la estructura de las pequeñas escalas. Además, el estudio y conocimiento profundo de sus características,

podrían suministrar una herramienta idónea, para estudiar los flujos no isótropos más generales, al menos en una primera aproximación.

1.5. Objetivos del trabajo.

En el presente trabajo se pretenden caracterizar los regímenes turbulentos obtenidos usando distintos dispositivos, consistentes en matrices de chorros enfrentados y su combinación con rejillas metálicas. Además se quiere analizar su idoneidad para conseguir, a escala de laboratorio, turbulencia isótropa con un rango inercial suficientemente grande.

Los resultados experimentales obtenidos en estos flujos turbulentos (homogéneos e isótropos) pueden ser utilizados para mejorar los modelos de escala pequeña (modelos de submalla) que se utilizan en las Simulaciones Numéricas de Grandes Escalas (LES.)

Además este proyecto servirá como punto de partida para el estudio del comportamiento de partículas pesadas en flujos turbulentos.

Por otro lado se describirán los distintos métodos usados para obtener los valores de las magnitudes usadas para caracterizar la turbulencia, que se han basado prácticamente en el análisis espectral de los datos obtenidos mediante anemometría de hilo caliente.