

Resumen

Esta tesis trata sobre la turbulencia en canales térmicos. El pilar fundamental de la tesis son las simulaciones numéricas directas (DNS del inglés). Con este tipo de simulaciones, se calculan todas las escalas del flujo, sin ningún tipo de modelo, por lo que los resultados obtenidos deberían ser idénticos a la realidad, siempre y cuando la discretización del problema sea correcta. Utilizando un código DNS desarrollado por el equipo de investigación, se ha realizado un amplio número de simulaciones, generando una gran base de datos con números de Reynolds y Prandtl simulados por primera vez en este trabajo. El foco principal del estudio ha sido puesto en los flujos de Poiseuille, es decir, aquellos movidos por una diferencia de presión, y que son calentados desde las dos paredes del canal por un flujo térmico constante en su media temporal, donde la temperatura es considerada como un escalar pasivo. Esta condición de contorno es conocida como la condición de contorno mixta (MBC del inglés). Además también se ha estudiado el campo térmico en flujos de Couette bajo la MBC y, por último, flujo estratificado.

Las simulaciones de flujos de Poiseuille han sido realizadas a números de Reynolds de fricción de $Re_\tau = 500, 1000$ y 2000 . Dos grupos principales de simulaciones han sido distinguidos: aquellas con números de Prandtl medios y bajos ($0.007 \leq Pr \leq 0.71$) y números de Prandtl medios y altos ($0.71 < Pr \leq 10$). Además, se han realizado dos simulaciones extra con $Re_\tau = 5000$ y $Pr = 0.71$ y otra para flujo isotérmico con $Re_\tau = 10000$, alcanzando por primera vez dichos valor de Reynolds de fricción para una DNS de flujo térmico e isotérmico, respectivamente. La caracterización del campo térmico para cada régimen de número de Reynolds y para cada rango de número de Prandtl ha sido estudiada en detalle, analizando las estadísticas de primer y segundo orden, así como los número adimensionales de Nusselt, Nu , y Prandtl turbulento, Pr_t , los cuales tienen una gran importancia en la modelización del flujo térmico. Como norma general, se ha obtenido que el escalado del campo térmico presenta errores para los números de Prandtl más bajos, debido a la gran influencia de la subcapa conductiva, obteniendo campos térmicos totalmente laminares para estos casos. De hecho, la zona logarítmica de la temperatura media no empieza verse hasta $Pr > 0.3$, aunque una tendencia perfectamente logarítmica no alcanza a verse ni en el caso de $Re_\tau = 5000$. Por otro lado, para números de Prandtl altos, parece alcanzarse un equilibrio térmico que hace que el escalado de ciertas estadísticas del campo de temperatura sea más preciso. Como principal resultado, el máximo de la fluctuación de la temperatura es independiente del Re_τ para números de Prandtl altos. Esto tiene como consecuencia directa el correcto escalado de la difusión viscosa y la disipación en la ecuación de equilibrio de la varianza de temperatura, lo cual es un beneficio en el modelado del campo térmico. Con respecto a la simulación del canal isotérmico a $Re_\tau = 10000$, se ha obtenido por primera vez un comportamiento logarítmico en la velocidad media, lo cual es clave a la hora de entender mejor la turbulencia.

El principal foco de estudio de los flujos de Couette ha sido la caracterización de las estructuras que aparecen a lo largo de la dirección del flujo. Estas estructuras habían sido estudiadas para el campo de velocidades previamente, y han sido detectadas por primera vez en este trabajo para el campo de temperaturas. El principal resultado es que el dominio computacional ha de ser lo suficientemente grande como para que, al menos, cuatro de estas estructuras aparezcan, de lo contrario, la estadística de velocidad y temperatura se ven afectadas y dependen del tamaño del dominio computacional. Estas estructuras

son altamente estables y persisten cuando se impone un flujo transversal o para diferentes condiciones de contorno de temperatura. Sin embargo, en las simulaciones de flujo estratificado, se ha observado que una diferencia en la concentración, hace que las estructuras se debiliten, incluso que lleguen a desaparecer casi por completo, limitando su aparición a la zona más central del canal.

Como complemento, y en busca de leyes universales que describan el comportamiento turbulento del campo de velocidades y el campo térmico, se ha utilizado la teoría de simetrías de Lie para aplicarla a las ecuaciones que gobiernan los flujos turbulentos: las ecuaciones de Navier-Stokes y de la energía. Esta teoría matemática, consiste en obtener soluciones invariantes de las ecuaciones diferenciales parciales. Estas soluciones invariantes son conocidas en el campo de la turbulencia como leyes de escalado. En concreto, se han obtenido leyes de escalado para la velocidad y temperatura media y momentos de órdenes superiores de ambos, para un flujo de Poiseuille. Estas leyes de escalado son válidas en el centro del canal y bajo la hipótesis de viscosidad y conductividad térmica nula, es decir, para altos números de Reynolds y de Péclet. Para validar estas leyes de escalado, se ha utilizado los datos obtenidos en las DNS, obteniendo una extraordinaria precisión a la hora de describir la velocidad y temperatura media y los momentos de hasta orden superior. Además, la ley de escalado de la velocidad media en la zona logarítmica también ha sido derivada, obteniendo la expresión clásica desarrollada por von Kármán a partir de un análisis dimensional. En este trabajo, además, se han derivado las leyes de escalado para momentos de órdenes superiores en la zona logarítmica, siendo estas validadas con los datos de la simulación de $Re_\tau = 10000$. De nuevo, una gran precisión es obtenida. La importancia de estas leyes de escalado reside en que simplemente con los dos primeros momentos de la velocidad y temperatura, se obtienen los parámetros que determinan el exponente de la ley de escalado de cualquier otro momento de orden superior.

La base de datos está abierta a la comunidad científica en el siguiente enlace:

<http://personales.upv.es/serhocal/>