

TESIS CARRERA DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA

**ANÁLISIS DEL FLUJO EN CONVECCIÓN MIXTA EN
CANALES RECTANGULARES**

Patricio G. Canciani
Maestrando

Dr. William I. Machaca Abregu
Director

Dr. Federico Teruel
Co-director

Miembros del Jurado

Dr. Christian P. Marcel (Instituto Balseiro – CNEA)
Dr. Pablo Garcia Martinez (Instituto Balseiro – CNEA)
Dr. César Venier (FCEIA – SIMEC)

13 de Noviembre de 2024

Departamento de Mecánica Computacional
(Centro Atómico Bariloche)

Instituto Balseiro
Universidad Nacional de Cuyo
Comisión Nacional de Energía Atómica
Argentina

A mi padres

A mi hermana

A mis amigos

A todos mis seres queridos

Índice de símbolos

Índice de contenidos

Índice de símbolos	v
Índice de contenidos	vii
Índice de figuras	ix
Índice de tablas	xi
Resumen	xiii
Abstract	xv
1. Introducción	1
1.0.1. Cap 1	2
2. Modelado Computacional y XC3D	5
2.1. Metodos Numéricos	5
2.2. Xcompact3D	5
2.3. Modelo Computacional	5
3. Resultados de Simulaciones	7
Bibliografía	10
Agradecimientos	11

Índice de figuras

3.1. a) $\langle \theta^+ \rangle$ vs y^+ b) $\langle \theta^+ \rangle_{rms}$ vs y^+	8
--	---

Índice de tablas

Resumen

Este es el resumen en castellano.

La tesis debe reflejar el trabajo desarrollado, mostrando la metodología utilizada, los resultados obtenidos y las conclusiones que pueden inferirse de dichos resultados.

Palabras clave: FLUJO TURBULENTO, CONVECCIÓN MIXTA

Abstract

This is the title in English:

The thesis must reflect the work of the student, including the chosen methodology, the results and the conclusions that those results allow us to draw.

Keywords: TURBULENT FLOW, MIXED CONVECTION

Capítulo 1

Introducción

1.1. Tesis Maestría Machaca

En la actualidad muchos problemas de la ingeniería presentan flujos en régimen de transición. Ejemplo de esto son las alas de los aviones, los álabes de las turbinas, los intercambiadores de calor, entre otros.

Desde el punto de vista ingenieril, aunque este es un régimen de trabajo no deseado por su carácter intermitente, en el cual el flujo puede fluctuar entre los regímenes laminar y turbulento, las características de este fenómeno resultan de gran relevancia, ya que el coeficiente de fricción [White, 2011] y el coeficiente de convección [Incropera et al., 2006] se incrementan notablemente al pasar del régimen laminar al turbulento [Tam and Ghajar, 2006].

Por otro lado, un flujo se encuentra en un estado de transición desarrollado cuando no varía con el tiempo ni con el espacio en un promedio estadístico; en este caso, se dice que el flujo está en régimen de transición. La evolución de un flujo laminar a un flujo turbulento completamente desarrollado se denomina transición laminar-turbulenta, y puede ocurrir en el tiempo, en cuyo caso se habla de transición laminar-turbulenta temporal, o en el espacio, lo que se conoce como transición laminar-turbulenta espacial.

En las últimas décadas, se han realizado numerosos esfuerzos para desarrollar técnicas que mejoren la transferencia de calor y el desempeño global de los intercambiadores de calor, motivados principalmente por el interés en ahorrar energía. Con este objetivo, se han llevado a cabo experimentos tanto en tubos como en canales, con el fin de determinar experimentalmente correlaciones de transferencia de calor [Hausen, 1959, Gnielinski, 1976, Churchill, 1977, Sleicher and Rouse, 1975].

Por otro lado, el estudio de la transferencia de calor en canales rectangulares ha ganado interés en los últimos años, motivado por su aplicación en reactores nucleares [Sikorska et al., 2024], en el área de sistemas electrónicos avanzados por el sistema de refrigeración [Kamdem Kamdem and Zhu, 2020]

Es importante destacar que los experimentos reales suelen ser costosos, por lo que a menudo se recurre a experimentos numéricos como alternativa o complemento. En el campo de la simulación numérica de fluidos, surge el concepto de fluidodinámica computacional, que mediante simulaciones numéricas busca explicar el comportamiento de los fluidos. Sin embargo, es sabido que el régimen turbulento presenta un comportamiento caótico y fluctúa rápidamente en el espacio y el tiempo, lo que hace su estudio numérico complejo. Aún más desafiante es el análisis del flujo en transición, que representa un estado intermedio entre el régimen laminar y el turbulento.

Hoy en día, el uso de supercomputadoras para resolver las ecuaciones que describen el movimiento de un fluido ha ganado relevancia y se ha convertido en una herramienta clave para el estudio de flujos turbulentos y en transición. Gracias al avance de las computadoras de alto rendimiento, la simulación numérica directa (DNS) se ha convertido en una herramienta esencial para investigar la turbulencia y la transición. El DNS permite calcular la solución tridimensional y dependiente del tiempo de las ecuaciones de conservación de masa, momento y energía. Como estas ecuaciones se resuelven sin un modelo de turbulencia, requieren una malla computacional fina para capturar todas las escalas del flujo. A medida que el número de Reynolds aumenta, surgen escalas más pequeñas [Pope, 2001], lo que demanda mallas aún más finas para una correcta representación.

Además, la simulación numérica directa del transporte de un escalar pasivo, como la temperatura, en un flujo turbulento requiere especial atención, ya que a un número de Reynolds fijo, el aumento en el número de Prandtl incrementa el requerimiento de mallado para capturar adecuadamente las variaciones de temperatura.

Una de las primeras simulaciones numéricas directas de flujo turbulento completamente desarrollado fue realizada por Kim y Moin [Kim and Moin, 1989]. Más adelante, con el apoyo de la computación en paralelo masiva, Kawamura et al. [Kawamura et al., 2000] llevaron a cabo simulaciones DNS en un canal periódico.

1.2. Turbulent Flows - Pope

1.2.1. Cap 1

La principal motivación para el estudio de los flujos turbulentos radica en la combinación de tres factores clave: en primer lugar, la mayoría de los flujos en la naturaleza son turbulentos; en segundo lugar, el transporte y la mezcla de materia, momento y calor en estos flujos son de gran importancia práctica; y en tercer lugar, la turbulencia incrementa significativamente las tasas de estos procesos.

El primer paso para clasificar estos estudios es diferenciar entre la turbulencia a pequeña escala y los movimientos a gran escala en los flujos turbulentos. Mientras que

los movimientos a gran escala están fuertemente influenciados por la geometría del flujo, es decir, por las condiciones de contorno, el comportamiento de las turbulencias a pequeña escala está determinado casi exclusivamente por la cantidad de energía que reciben de los movimientos a gran escala y por la viscosidad. Esto hace que las turbulencias a pequeña escala tengan un carácter universal, independiente de la geometría del flujo.

Capítulo 2

Modelado Computacional y XC3D

2.1. Metodos Numéricos

2.2. Xcompact3D

[Kawamura et al., 2000]

2.3. Modelo Computacional

[Moser et al., 1999]

Capítulo 3

Resultados de Simulaciones

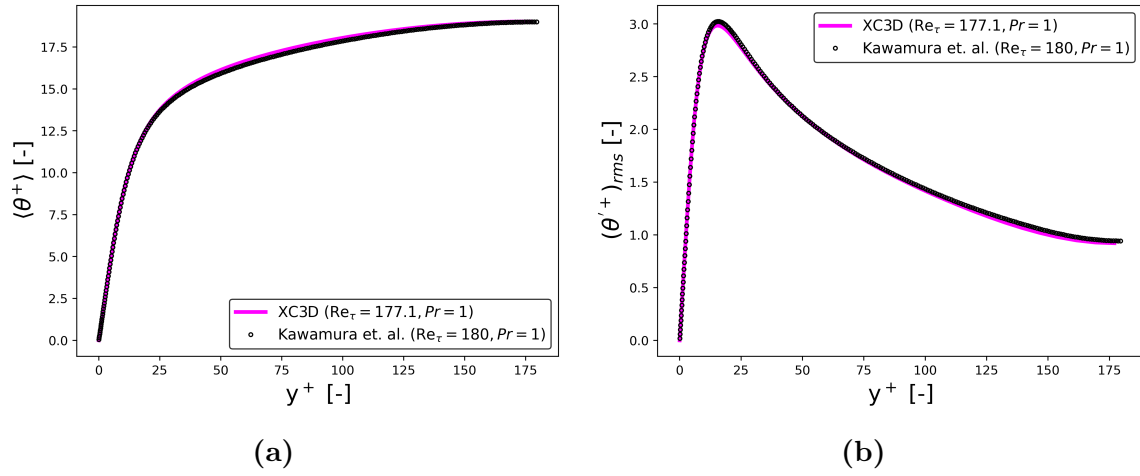


Figura 3.1: a) $\langle \theta^+ \rangle$ vs y^+ b) $\langle \theta^+ \rangle_{rms}$ vs y^+ .

sdad

Bibliografia

- [Churchill, 1977] Churchill, S. W. (1977). Comprehensive correlating equations for heat, mass and momentum transfer in fully developed flow in smooth tubes. *Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals*.
- [Gnielinski, 1976] Gnielinski, V. (1976). New equations for heat and mass transfer in turbulent pipe and channel flow. *International Chemical Engineering Journal*.
- [Hausen, 1959] Hausen, H. (1959). New equations for heat transfer in free or forced flow. *Allg Warmtechn.*
- [Incropera et al., 2006] Incropera, F. P., DeWitt, D. P., Bergman, T. L., Lavine, A. S., et al. (2006). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. John Wiley and Sons.
- [Kamdem Kamdem and Zhu, 2020] Kamdem Kamdem, C. A. and Zhu, X. (2020). Numerical study on the flow and heat transfer coupled in a rectangular mini-channel by finite element method for industrial micro-cooling technologies. *Journal Of Fluids*.
- [Kawamura et al., 2000] Kawamura, H., Abe, H., and Shingai, K. (2000). Dns of turbulence and heat transport in a channel flow with different reynolds and prandtl numbers and boundary conditions. *Turbulence, Heat and Mass Transfer*.
- [Kim and Moin, 1989] Kim, J. and Moin, P. (1989). Transport of passive scalars in a turbulent channel flow.
- [Moser et al., 1999] Moser, R. D., Kim, J., and Mansour, N. N. (1999). Direct numerical simulation of turbulent channel flow up to $Re_\tau = 590$. *Physics of fluids*.
- [Pope, 2001] Pope, S. B. (2001). *Turbulent flows*. Cambridge University Press.
- [Sikorska et al., 2024] Sikorska, D., Brzozowska, J., Pawelkiewicz, A., Psykała, M., Błasiak, P., and Kolasiński, P. (2024). Convective heat transfer in pwr, bwr, candu, smr, and msr nuclear reactors—a review. *Energies*.
- [Sleicher and Rouse, 1975] Sleicher, C. and Rouse, M. (1975). A convenient correlation for heat transfer to constant and variable property fluids in turbulent pipe flow. *International Journal of Heat and Mass Transfer*.

[Tam and Ghajar, 2006] Tam, L. M. and Ghajar, A. J. (2006). Transitional heat transfer in plain horizontal tubes. *Heat Transfer Engineering*.

[White, 2011] White, F. M. (2011). *Fluid mechanics*. McGraw-Hill New York.

Agradecimientos

*“Oh if I get lost, I know I can return ...
There’s a drink awaiting me at the tavern ...”*
— Lilith Max

A todos los que se lo merecen, por merecerlo

