



Proyecto Final ICH1104-1

Profesor: Wernher Brevis

1. Introducción

En esta experiencia, los estudiantes trabajarán de manera directa con el canal de flujo del laboratorio de docencia, equipo que permite estudiar de forma experimental los fundamentos de la mecánica de fluidos en un régimen controlado. El propósito del laboratorio es analizar cómo varía el comportamiento del flujo de agua al desplazarse alrededor de una **placa plana horizontal**, evaluando el cambio del campo de velocidades, de la turbulencia del campo de flujo de aproximación y del que se desarrolla aguas abajo.

El estudio de las variaciones del perfil de velocidades es esencial para comprender cómo los efectos viscosos influyen en la transferencia de cantidad de movimiento entre el fluido y la superficie sólida. Cuando el flujo se encuentra con una superficie, el fluido adyacente a ella se detiene debido a la llamada **condición de no deslizamiento**, generando un gradiente de velocidad en la dirección normal a la superficie. Esta región, denominada **capa límite**, es donde se desarrollan fenómenos como el esfuerzo cortante, la resistencia por fricción (*drag*), la transición entre los regímenes laminar y turbulento, y, dependiendo del caso, la generación de estelas.

En este laboratorio se observará experimentalmente cómo las características del flujo aguas arriba de la placa son modificadas por la presencia de la misma. El objetivo es comprender cómo se modifican las características promedio del flujo, así como aquellas que pueden ser determinadas a partir de las fluctuaciones de velocidad.

De esta manera, el laboratorio busca consolidar los conocimientos teóricos revisados en el capítulo de turbulencia, ley de viscosidad de Newton, y capa límite, fortaleciendo la relación entre la teoría y la observación experimental, además de introducir el tratamiento de datos y su visualización mediante análisis computacional.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Analizar experimentalmente el desarrollo del flujo debido a la presencia de una placa plana horizontal, determinando las características del flujo de aproximación a la placa, del que ocurre justo sobre ella, y del

flujo aguas abajo de la misma, en términos de sus características promediadas en el tiempo, turbulencia, y fuerzas inducidas sobre la placa.

2.2. Objetivos específicos

- Medir los perfiles de velocidad, aguas arriba, sobre, y aguas abajo de la placa.
- Determinar las características del campo medio de velocidad y explicar los cambios que ocurren a lo largo de la longitud del canal y en relación a la presencia de la placa.
- Caracterizar las modificaciones que ocurren en el campo de velocidad fluctuante por medio de herramientas básicas tales como la caracterización de los esfuerzos de corte de Reynolds, Energía Cinética Turbulenta y espectros de energía.
- Aplicando un análisis integral, determinar la fuerza que el flujo ejerce sobre la placa.
- Estimar la distribución de esfuerzos de corte que ocurre sobre la placa a partir de las mediciones de velocidad sobre la misma.
- Explorar potenciales análisis adicionales a lo visto en clases que permitan profundizar la caracterización de la estructura del flujo.
- Discutir y analizar los resultados usando los contenidos revisados en clases, pero también consultando bibliografía relativa a las características conocidas del flujo en canales abiertos y de los efectos que puede causar una placa sobre el mismo. Para esto el estudiante podrá consultar libros, así como trabajos científicos, revisados por pares, disponibles a través de la biblioteca de la Universidad.

3. Procedimiento experimental

3.1. Descripción general del experimento

El experimento se realizará en el canal de flujo del laboratorio, donde se hará circular agua con un caudal fijo. En el interior del canal se instalará una **placa plana horizontal** de superficie lisa y dimensiones aproximadas de **30 × 20 cm**, fijada de manera tal que el flujo pueda pasar tanto por su cara superior como inferior.

A medida que el agua avanza sobre la placa, el flujo se adhiere a la superficie, generando la formación de una capa límite que se engrosa progresivamente, la cual se separa de la placa generando una estela aguas abajo.

3.2. Variables controladas y medidas

Las mediciones se realizarán con un *Acoustic Doppler Velocimeter (ADV)*, instrumento que determina la velocidad del fluido a partir del desplazamiento Doppler de señales ultrasónicas. Es necesario que el estudiante se familiarice con el instrumento, tanto en términos de su tasa de muestreo temporal, como en términos de las dimensiones y posición de la zona de muestreo. Adicionalmente, cada grupo debe asegurarse que el porcentaje de correlación durante el muestreo se mantenga dentro de los rangos recomendados para asegurar la robustez de la misma. El manual del instrumento (modelo de 10-MHz) puede ser encontrado en el siguiente link: https://misclab.umeoce.maine.edu/ftp/instruments/Sontek%204_27_10/Documents/ADVFieldManual_v790.pdf

3.3. Rangos de operación

El laboratorio se realizará con una sola condición de flujo y con una profundidad fija que será definida por el equipo docente. Los datos de caudal y profundidad de flujo deberán ser revisados por cada grupo en el momento en que realicen las mediciones. El grupo de ayudantes informará al inicio del trabajo de cada grupo,

el número de puntos y la duración de la medición que se debe realizar en cada uno de ellos. Cada grupo deberá entregar los datos crudos en formato de texto, y de acuerdo al siguiente formato para el nombre del archivo, **LXXhXXGXX.txt**, donde el XX después de L indica la posición longitudinal de la medición, el XX después de h indica la distancia desde el fondo de la medición, y donde XX después de la G indica el número de grupo. Es necesario que la conversión de archivos se realice en el mismo computador usado para la adquisición de datos, ya que el software de conversión solo se encuentra disponible en él. Una vez todos los grupos entreguen sus datos se creará una base de datos general, la cual será usada por todos los grupos para el análisis del flujo. El link al documento que describe la operación del software de adquisición y conversión de datos puede ser encontrado en el siguiente link: https://misclab.umeoce.maine.edu/ftp/instruments/Sontek%20_27_10/Documents/HorizonADV_QuickStart.pdf

3.4. Análisis posterior

El trabajo se debe iniciar con los procedimientos estándar previos al procesamiento de datos experimentales. La primera tarea es revisar la presencia de outliers o mediciones falsas en las series de tiempo medidas en cada punto. Para esto se pueden usar paquetes de filtrado disponibles tanto para Matlab como Python, así como el desarrollo de alguna metodología breve que sirva con este propósito. Típicamente la metodología más usada es la recomendada en el paper: "Goring, D. G., Nikora, V. I. (2002). Despiking acoustic Doppler velocimeter data. *Journal of Hydraulic Engineering*, 128(1), 117-126.". Todas las herramientas usadas deben ser referenciadas y los códigos entregados junto al envío del informe. Previo al análisis, los estudiantes deberán verificar la convergencia de al menos las estadísticas de primer orden en cada punto.

A partir de los datos disponibles se propone graficar la evolución del perfil de velocidad promedio, longitudinal, transversal y vertical. Se espera que el estudiante sea capaz de explicar el porqué de la evolución de estos perfiles de velocidad en base al resto de los análisis involucrados en este laboratorio.

Una vez calculadas las velocidades medias en cada punto, el estudiante deberá trabajar con las señales de las fluctuaciones de velocidad y con esto realizar una caracterización básica de la estructura turbulenta del flujo. Para esto se requiere analizar la evolución espacial de la escala integral temporal, obtenida a partir de la función de autocorrelación, los esfuerzos de corte de Reynolds, de la energía cinética turbulenta y de los espectros de energía en puntos de medición seleccionados.

Para el cálculo del espectro de energía se recomienda el uso del **método de Welch**. Este método permite dividir una señal larga en un cierto número de señales estadísticamente independientes (es decir cada una debe estar convergida en lo posible). El método calcula el espectro de energía asociado a cada una de las señales que componen la señal total, y luego promedia los espectros para así aumentar la robustez de la representación espectral. Adicionalmente, el método permite superponer parte de las subdivisiones para así generar un mayor número de señales y aumentar el número de espectros promediados. Es necesario mencionar que el método calcula el espectro en un cierto número de puntos típicamente llamado NFFT en los algoritmos disponibles para Python, Matlab o Julia entre otros. Al aumentar este número ocurren artefactos numéricos que pueden aumentar el ancho del espectro y por tanto representar energía que no está en la señal. Para asegurar que el espectro cumpla con las restricciones físicas, el área bajo el espectro debe ser aproximadamente igual a la varianza de la señal.

El siguiente es un pequeño ejemplo en **Python** que demuestra el cálculo de la Energía (P_{xx} y P_{xx2}), de las frecuencias (f_{reqs} y f_{reqs2}) asociadas a una señal de velocidad v_{sig} y u_{sig} respectivamente. Notar que los resultados en este ejemplo se entregan en forma adimensional usando una longitud y velocidad característica del flujo medido. Más información de la función usada en este ejemplo puede ser encontrada en : https://matplotlib.org/stable/api/_as_gen/matplotlib.axes.Axes.psd.html#matplotlib.axes.Axes.psd

```
1 import numpy as np
2 import matplotlib.pyplot as plt
3 import matplotlib.mlab as mlab
4 import matplotlib.pyplot as pylab
```

```

6 import os
7
8
9 filename='sigatx25y12p5.npz'
10
11 pointid='a' # define the targeted point ( choose a,b,c,d, or e)
12
13 L=25.0 #characteristic length scale in cm
14 U=15.0 # characteristic velocity scale in cm/s
15
16 f_line=np.arange(1,10)*1.0
17
18 check=os.path.exists(filename)
19
20 if check==False:
21     ndata.append(filename)
22     print('The file does not exist!')
23
24 else:
25
26
27     fd = open(filename, "rb")
28     data=np.load(fd)
29     u_sig=data['u_sig']
30     v_sig=data['v_sig']
31
32
33
34     (Pxx, freqs)=mlab.psd(v_sig-np.mean(v_sig), NFFT=512, Fs=16)
35     (Pxx2, freqs2)=mlab.psd(u_sig-np.mean(u_sig),NFFT=512, Fs=16)
36
37     plt.figure(1)
38     plt.subplots_adjust(left=0.15,bottom=0.15,right=0.85,top=0.85,wspace=0.,hspace=0.) # To adjust position
39     plt.loglog(freqs*L/U,Pxx/(L*U),'g',freqs2*L/U,Pxx2/(L*U),'b',f_line,0.01*f_line*(-5/3),'--r',linewidth=2.0)
40     plt.legend((r'$u-\prime$',r'$v-\prime$',r'$-5/3$'))
41     plt.grid(True,linewidth=1.5)
42     plt.xlabel(r'$f*L/U$',fontsize=20)
43     plt.ylabel(r'$E/(LU)^\prime$',fontsize=20,rotation='vertical')
44     plt.xticks(fontsize=18)
45     plt.yticks(fontsize=18)
46     plt.minorticks_on()
47
48     fileout='spectrum'+ '_' +pointid+'.png'
49     plt.savefig(fileout,dpi=300)
50
51
52 plt.show()

```

Listing 1: Maqueta de código en Python para el cálculo del espectro de energía

4. Informe

4.1. Fechas y distribución del trabajo

El informe asociado a este proyecto deberá ser entregado el **28 de noviembre a las 23:59 hrs.**

Los datos experimentales a utilizar para el análisis serán compartidos con toda la sección de modo que puedan elaborar gráficos con mayor nivel de detalle y realizar un análisis estadístico más robusto. Cada grupo deberá subir sus resultados al siguiente link:

Link: [insertarurl](#)

4.2. Estructura

El informe deberá contener, como mínimo, los siguientes apartados:

1. Título
2. Nombres de los participantes
3. Introducción
4. Marco teórico
5. Procedimiento experimental
6. Metodología
7. Resultados
8. Discusión
9. Conclusiones
10. Bibliografía

4.3. Formato y extensión

- Extensión máxima sugerida: 8 páginas (sin incluir anexos).
- Formato: PDF.
- Fuente: Times New Roman, tamaño 12 pt, interlineado 1.5.
- Todas las figuras y tablas deben estar numeradas y contar con título y fuente.
- Norma de citación **APA**.

5. Aspectos administrativos

5.1. Grupos de trabajo

Cada grupo estará conformado por 3-4 estudiantes. En caso de que un integrante no participe en la toma de datos o no contribuya de manera significativa al desarrollo del informe, esto deberá ser reflejado en la Evaluación de Pares.

5.2. Nota del proyecto

La calificación final del proyecto se calculará de acuerdo con la siguiente ponderación:

1. Informe: 80 %
2. Evaluación de Pares (EP): 20 %

Cabe destacar que si un estudiante obtiene una nota inferior a 4,0 en la Evaluación de Pares y/o en el informe, reprobará automáticamente el proyecto. En dicho caso, la nota final se calculará como:

$$NP = \min\{3,9, EP, \text{Informe}\}$$

Se recuerda que el proyecto es una evaluación de carácter **reprobatorio**.

5.3. Criterios de evaluación del informe

El informe será evaluado considerando los siguientes aspectos:

- **Claridad y redacción:** Presentación ordenada, coherente y con lenguaje técnico adecuado.
- **Profundidad del análisis:** Capacidad para interpretar los resultados y vincularlos con la teoría.
- **Presentación de resultados:** Gráficos, tablas y cálculos correctamente presentados y comentados.
- **Uso de métodos adicionales:** La exploración de métodos adicionales a los vistos en clases, su justificación breve, e interpretación en relación al flujo recibirá una puntuación extra en el informe.
- **Conclusiones:** Claras, coherentes con los resultados y relacionadas con los objetivos.
- **Cumplimiento de formato:** Respeto a la estructura solicitada y fecha de entrega.

5.4. Evaluación de pares

Al finalizar el proyecto, cada integrante deberá completar una evaluación anónima de desempeño para sus compañeros de grupo. La participación en esta evaluación es **obligatoria**. En caso de no responderla, la nota máxima posible en este apartado será un 4,0.

6. Recomendaciones finales

- Revisar cuidadosamente las unidades y coherencia de los resultados.
- Citar toda referencia bibliográfica utilizada, incluidas guías de laboratorio o apuntes del curso en formato **APA**.
- No incluir datos sin justificar su origen.
- Se recomienda revisar el informe en grupo antes de entregarlo.