

PRÁCTICA 4

MEDIDA DE FUERZAS AERODINÁMICAS EN UN TUNEL DE VIENTO

OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA

Los objetivos de esta práctica son:

- Aprender a utilizar tubos de Pitot y manómetros diferenciales para medir la presión y la velocidad del flujo.
- Estudiar el flujo alrededor de cuerpos aerodinámicos: esfera y perfil alar.
- Familiarizarse con los números adimensionales más utilizados en aerodinámica.

INTRODUCCIÓN

Una de aplicaciones clásicas de la Mecánica de Fluidos es el estudio del flujo alrededor de cuerpos aerodinámicos, en particular, para conocer las fuerzas que ejerce el flujo sobre estos. Un problema de gran interés en aerodinámica es el estudio del flujo alrededor de perfiles alares, siendo de aplicación en muchos campos de la Ingeniería: aeronáutica, automoción, producción energética, etc.

En esta práctica vamos a utilizar el túnel de viento del Laboratorio de Tecnologías Industriales de la Escuela Universitaria Politécnica de Teruel para estudiar el flujo alrededor de una esfera y de un perfil alar. Este túnel de viento (ver Figura 1), de tipo abierto, se compone de una gran sección de entrada, de una tobera o zona de contracción en la que se acelera el flujo, de la zona de ensayos, de un difusor en el que se reduce la velocidad del flujo y de un ventilador aguas abajo. La sección de medida tiene unas dimensiones de $49 \times 49 \text{ cm}^2$ y en ella se pueden alcanzar velocidades de unos 170 km/h . El ventilador situado aguas abajo genera una succión del flujo de aire desde la entrada. Este ventilador se acciona mediante un motor asíncrono trifásico de 3 kW cuya velocidad se controla mediante un regulador de frecuencia.

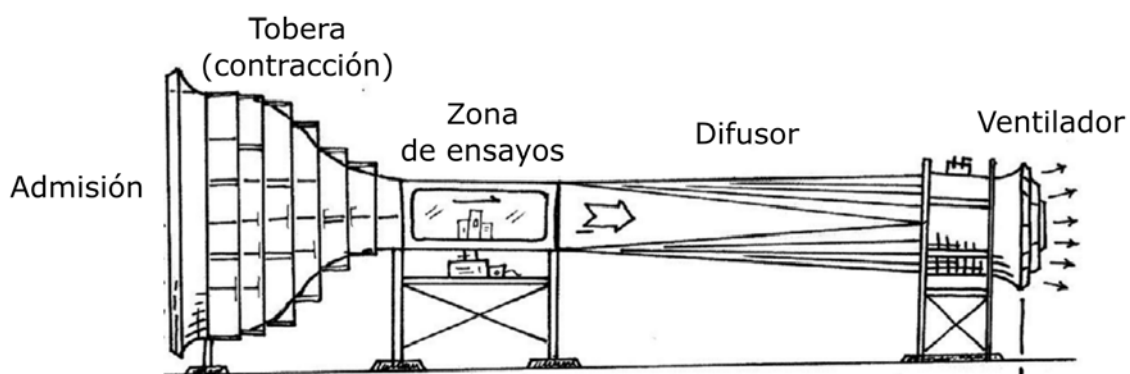


Figura 1: Vista general del túnel de viento

Este túnel de viento tiene una potencia muy elevada y se deben cumplir rigurosamente las normas de seguridad que indique el profesor.

COMPONENTES DEL TÚNEL DE VIENTO Y DISPOSITIVOS DE MEDIDA

A continuación, se muestran los componentes y dispositivos de medida que se van a utilizar durante la práctica (Figuras 2-7).



Figura 2: Vista general del túnel de viento



Figura 3: Zona de medida e instrumentos

Tornillo de
sujeción del
vástago

Tornillo de
sujeción para
fijar ángulo

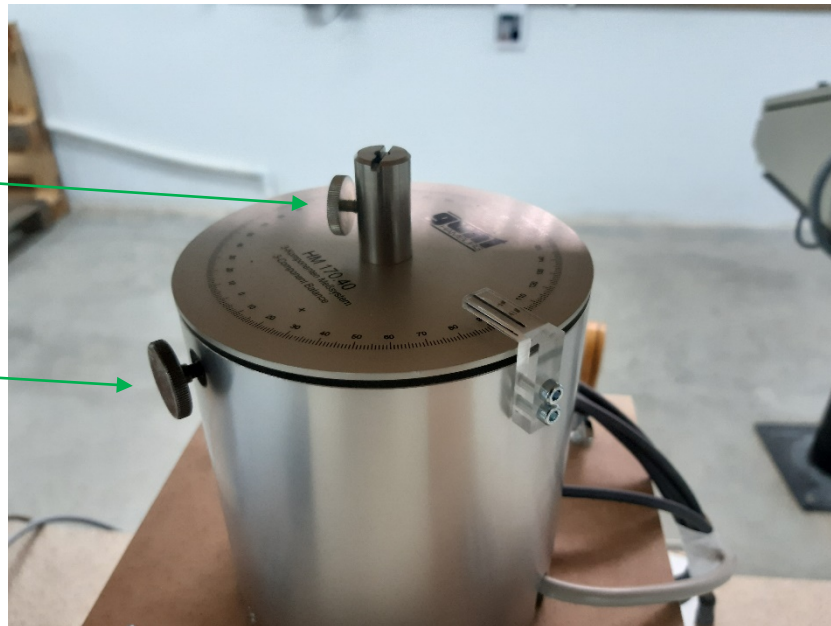


Figura 4: Balanza de 3 componentes

Botones de
calibración



Figura 5: Consola electrónica de la balanza

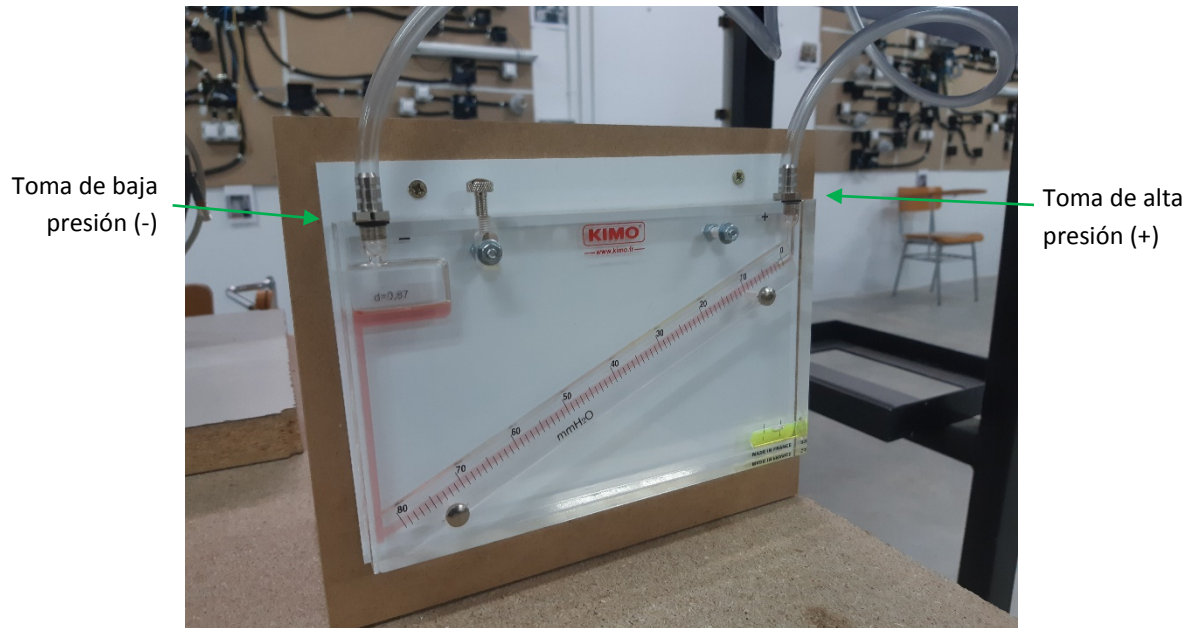


Figura 6: Manómetro diferencial de columna inclinada



Figura 7: Vista superior del túnel, con toma estática

NORMAS DE SEGURIDAD

A continuación, se detallan las normas de seguridad de estricto cumplimiento durante la práctica:

- ⚠ Antes de encender el túnel de viento, se debe comprobar que el potenciómetro se encuentra en “0”.
- ⚠ Antes de encender el túnel de viento, se debe comprobar que no hay objetos sin sujetar en el interior ni a la entrada. Éstos pueden ser succionados por el ventilador.
- ⚠ Cuando el túnel de viento se encuentre encendido a una velocidad superior a “5”, está **terminantemente prohibido situarse junto a la sección de entrada y al ventilador, así como situar objetos en estos sitios.**
- ⚠ Cuando el túnel de viento se encuentre encendido, se debe tener cuidado con relojes, pulseras, gafas de sol, etc. que pudieran ser succionados a través de la entrada o la compuerta.

Además, los equipos de medida tienen algunas limitaciones muy importantes que deben respetarse para evitar su **daño permanente**:

- ⚠ **Las células de carga de la balanza tienen un rango de medida de -4N, +4N. Si se superan dichos valores, se producirá un daño irreparable** en las células de carga. Para evitarlo:
 - Al introducir el vástago del cuerpo a ensayar en la balanza, debéis hacerlo con cuidado sin ejercer fuerza en el plano horizontal.
- ⚠ **El manómetro diferencial de columna inclinada solo permite medir diferencias de presión de 80 mm de columna de agua.** Ésta diferencia de presión se alcanza a velocidades intermedias del túnel de viento. Si se supera esta velocidad, el líquido del manómetro diferencial puede ser succionado y vaciado completamente.

PARTE 1. MEDIDAS DE VELOCIDAD Y PRESIÓN

En esta primera parte de la práctica vamos a aprender a utilizar el tubo de Pitot, las tomas de presión estáticas del túnel de viento, el manómetro diferencial de columna inclinada y el manómetro digital para medir presiones y velocidades.

Para medir la presión estática con el manómetro digital:

1. Encienda el manómetro digital y seleccione la función de medida de presión.
2. Conecte la toma estática del túnel de viento con la toma (+) del manómetro digital utilizando el tubo blanco.
3. Tome la medida.

Para medir la velocidad con tubo de Pitot y el manómetro digital:

1. Conecte el tubo de Pitot al manómetro digital siguiendo el manual de instrucciones.

2. Antes de introducir el tubo de Pitot en el túnel de viento, encienda el medidor digital, seleccione la función de medida de velocidad, unidades “m/s”, y ponga a cero el valor de medida presionando “hold-zero”. Consulte el manual de instrucciones si tiene dudas.
3. Introduzca el tubo de Pitot en el túnel de viento y tome la medida.

Para medir la velocidad con el tubo de Pitot y el manómetro diferencial de columna inclinada:

1. Conecte el tubo de Pitot al manómetro de columna inclinada.
2. Anote el nivel de fluido manométrico (L_1) antes de realizar la medida (debería estar en 0 mmH₂O).
3. Introduzca el tubo de Pitot en el túnel de viento y anote el nivel de fluido manométrico (L_2).
4. Mida la temperatura de la sala.
5. Calcule la velocidad utilizando la ecuación del tubo de Pitot que vimos en teoría, siendo en este caso la diferencia de presiones:

$$\Delta p = \rho_{H_2O} g (L_2 - L_1)$$

con $\rho_{H_2O} = 1000 \text{ kg/m}^3$ la densidad del agua. Tome la densidad del aire la correspondiente a la temperatura medida en el paso 4.

🔪 **Tarea 1:** Seleccione velocidad “3” en el potenciómetro, mida la presión estática en el interior del túnel de viento, así como la velocidad utilizando el manómetro digital y el de columna inclinada. Compare los resultados.

🔪 **Tarea 2:** Con la configuración de la Tarea 1, desconecte la toma (+) del manómetro de columna inclinada y observe cómo varía el nivel de fluido manométrico. ¿Qué ocurre? A la vista de este resultado, estime cuánto vale la presión de remanso en el tubo de Pitot.

PARTE 2. COEFICIENTE AERODINÁMICO DE UNA ESFERA

En esta segunda parte de la práctica vamos a ensayar experimentalmente el arrastre aerodinámico en una esfera lisa. Como vimos en teoría, las variables implicadas en este problema son la fuerza de arrastre sobre la esfera, F_D , la velocidad del viento V , la viscosidad y densidad del aire, μ y ρ , y el diámetro de la esfera, D . Aplicando el teorema de Vaschy-Buckingham, en este experimento la relación funcional entre números adimensionales es:

$$c_D = f(Re)$$

donde

$$c_D = \frac{F_D}{0.5\rho V^2 A}, \quad Re = \frac{\rho V D}{\mu}$$

son el coeficiente de arrastre y el número de Reynolds.

El objetivo de esta parte de la práctica es estimar experimentalmente el coeficiente aerodinámico, c_D , en función del número de Reynolds. Para ello, utilizaremos una balanza electrónica de 3 componentes que permite medir fuerza de arrastre, F_D , fuerza de sustentación, F_L , y momento (ver Figura 8). Además, mediremos la velocidad con el tubo de Pitot.

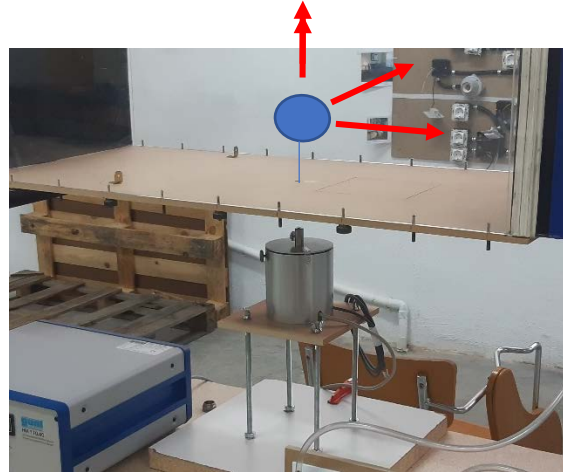


Figura 8: Ejes de medida de fuerzas y momentos

Para medir las fuerzas con la balanza de 3 componentes:

1. **Con el túnel de viento apagado**, encienda la consola electrónica de la balanza y deje que se caliente durante unos minutos.
2. Introduzca el cuerpo aerodinámico a ensayar a través de la compuerta inferior en la zona de ensayos. Fije el cuerpo aerodinámico a la balanza, introduciendo el vástago en el orificio superior de la balanza y apriete ligeramente el tornillo de fijación.
3. Cierre la compuerta inferior.
4. Ponga a cero los valores de fuerza mediante los botones giratorios.
5. Encienda el túnel de viento e incremente lentamente la velocidad hasta llegar a la velocidad deseada. **Si observa vibraciones fuertes en el cuerpo, baje la velocidad.**
6. Tome la medida.

🔧 **Tarea 3:** Mida F_D y V para tres velocidades distintas (posiciones “1”, “2” y “3”).

🔧 **Tarea 4:** Con los datos medidos anteriormente, represente gráficamente la curva:

$$c_D = f(Re)$$

🔧 **Tarea 5:** Mediante semejanza dimensional, calcule la fuerza de arrastre que sufriría una esfera de diámetro $2D$ a una velocidad de 6 m/s.

PARTE 3. AERODINÁMICA DE UN PERFIL ALAR

En esta segunda parte de la práctica vamos a ensayar la aerodinámica de un perfil alar. El objetivo es la medición de la fuerza de arrastre y de sustentación para distintos ángulos de ataque, con el objetivo de entender la respuesta de este tipo de superficies aerodinámicas, así como el concepto de pérdida aerodinámica.

El perfil a utilizar es un NACA 0015 (https://en.wikipedia.org/wiki/NACA_airfoil), que se caracteriza por ser simétrico (curvatura nula, lo cual se ve en los dos primeros dígitos “00”), y por tener un espesor máximo de un 15% de la cuerda. En este caso, la cuerda mide 15 cm y la

envergadura del perfil es de 18 cm. Para los cálculos posteriores, tome como superficie del perfil alar la superficie de la planta del mismo (cuerda \times envergadura).

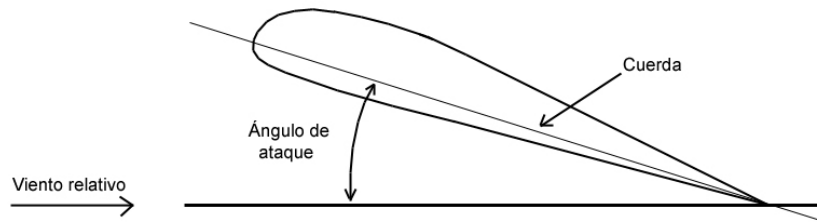


Figura 9: Definición de ángulo de ataque y cuerda de un perfil.



Figura 10: Perfil aerodinámico a utilizar en la práctica.

Las variables implicadas en este problema son la fuerza de arrastre, F_D , la fuerza de sustentación, F_L , la velocidad del viento V , la viscosidad y densidad del aire, μ y ρ , la cuerda del perfil, c , y el ángulo de ataque, α . Aplicando el teorema de Vaschy-Buckingham, en este experimento la relación funcional entre números adimensionales es:

$$c_D = f(Re, \alpha)$$

$$c_L = f(Re, \alpha)$$

donde

$$c_D = \frac{F_D}{0.5\rho V^2 A}, \quad c_L = \frac{F_L}{0.5\rho V^2 A}, \quad Re = \frac{\rho V c}{\mu}$$

son el coeficiente de arrastre y el número de Reynolds.

Para medir la fuerza de arrastre, F_D , y la fuerza de sustentación, F_L , utilizaremos la balanza electrónica de 3 componentes. Además, mediremos la velocidad con el tubo de Pitot como en el experimento anterior.

Para medir las fuerzas de arrastre y sustentación para distintos ángulos de ataque:

1. **Con el túnel de viento apagado**, encienda la consola electrónica de la balanza y deje que se caliente durante unos minutos.
2. Introduzca el perfil alar y fíjelo a la balanza, introduciendo el vástago en el orificio superior de la balanza y apretando ligeramente el tornillo de fijación. Cierre la compuerta inferior.
3. Deje suelto el tornillo de fijación del ángulo de ataque.
4. Ponga a cero las medidas de fuerza mediante los botones giratorios.
5. Encienda el túnel de viento hasta la velocidad deseada (**debe ser inferior a “2”** para evitar daños estructurales en el perfil y en la balanza).
6. Tome las medidas de fuerza para distintos ángulos de ataque, α .

🔧 **Tarea 6:** Mida F_D y F_L para una misma velocidad (inferior a posición “2”), para distintos ángulos de ataque, α entre -10 y 75 grados.

🔧 **Tarea 7:** Represente gráficamente las curvas

$$c_D = c_D(\alpha), \quad c_L = c_L(\alpha)$$

y también haga una representación de c_L frente a c_D , que se denomina *curva polar* del perfil alar y es muy utilizada en aerodinámica para caracterizar perfiles.

🔧 **Tarea 8:** ¿Se observa el fenómeno de pérdida aerodinámica? Explique cuándo ocurre y aporte fotografías y valores numéricos.

PREPARACIÓN DE LA PRÁCTICA Y TRABAJO PREVIO

Para realizar esta práctica se recomienda tener preparada una hoja de cálculo (en Excel o Python) para la realización de los cálculos y de las gráficas, que puede contener lo siguiente (opcional):

- Valores numéricos de las constantes físicas a utilizar. Se recomienda disponer de valores a 15°C, 20°C y 25°C, para utilizar aquellos más próximos a la temperatura del laboratorio el día de la práctica.
- Función para el cálculo de velocidad a partir de diferencia de presiones (tubo Pitot).
- Función para el cálculo del número de Reynolds, del coeficiente de arrastre y sustentación.

ENTREGA Y EVALUACIÓN

Cada grupo de prácticas entregará la hoja de cálculo elaborada, que contenga las medidas y representaciones gráficas, así como los textos de respuesta a aquellas tareas que requieren explicaciones adicionales. Cada grupo de prácticas debe elaborar y entregar su propia hoja de cálculo.