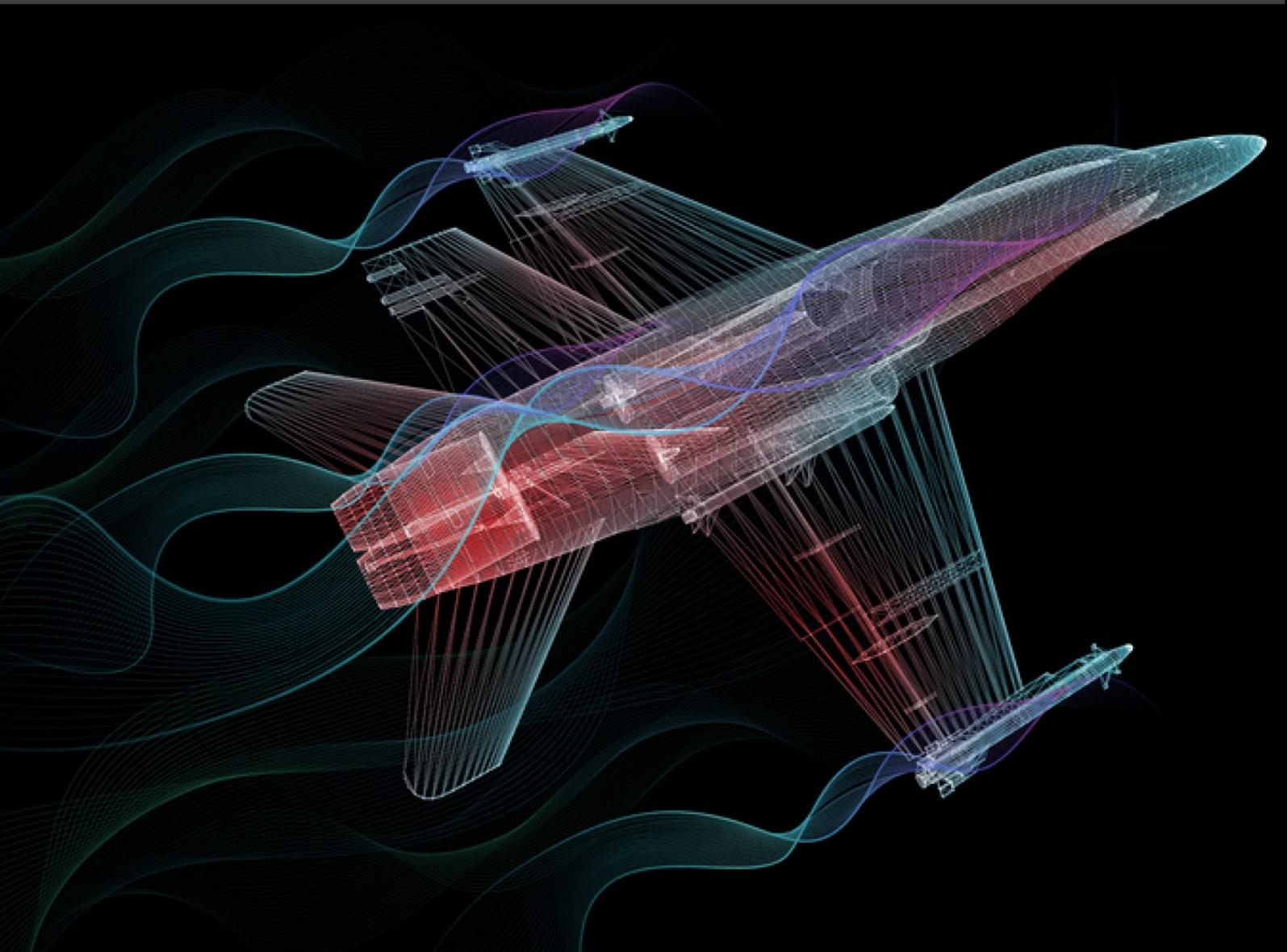




MATRIX | WIND TUNNEL

Aerodynamics



MATRIX
CP0704
www.matrixtsl.co
Copyright 2023-2024 Matrix Technology Solutions Limited

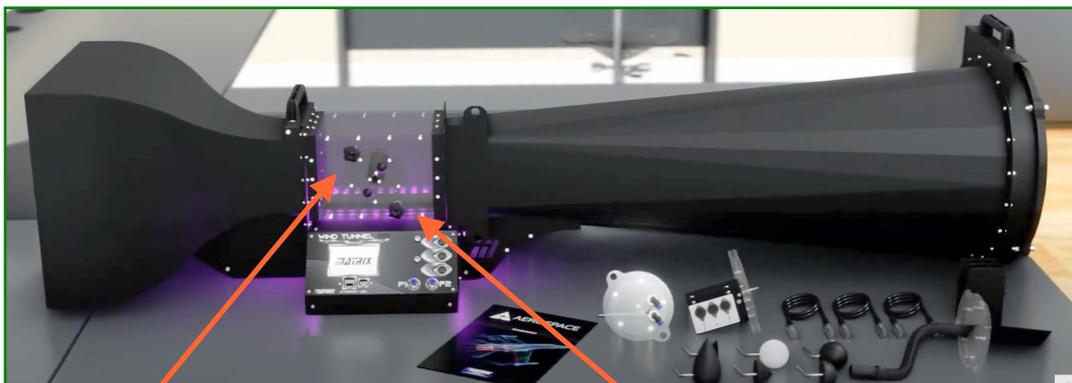
Contenido

| | |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| Introducción | 3 |
| Ficha 1 - Tubo Pitot-estático | 5 |
| Ficha 2 - Flujos alrededor de un cilindro | 7 |
| Ficha 3 - Esquemas de flujo alrededor de una superficie aerodinámica | 10 |
| Ficha 4 - Elevación y resistencia en una superficie aerodinámica | 13 |
| Ficha 5 - Coeficiente de arrastre | 15 |
| Ficha 6 - ¿Racionalización? | 17 |
| Ficha 7 - ¿Y ahora qué? | 18 |
| Folleto para estudiantes | 19 |
| Notas para el instructor | 47 |

Introducción

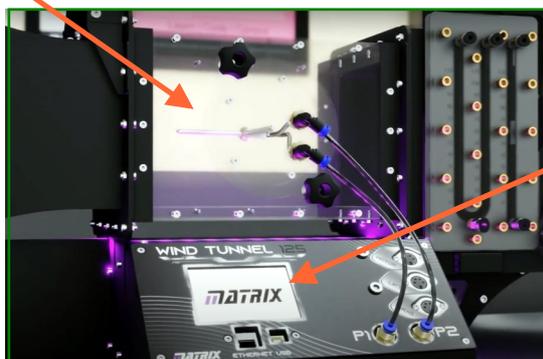
Túnel de viento 125

Este túnel aerodinámico de sobremesa está diseñado para la enseñanza de la aerodinámica y los principios del flujo de fluidos. Además de las investigaciones que se describen en las secciones siguientes, ofrece un amplio margen para la experimentación abierta.

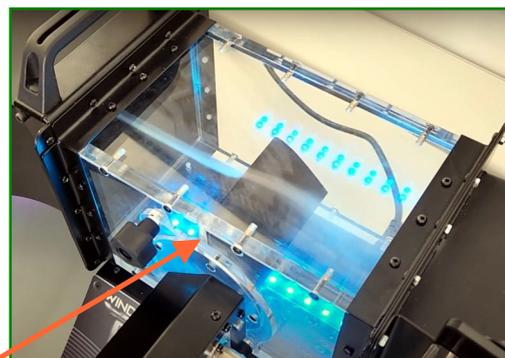


Sección de prueba transparente

Las luces LED móviles imitan el flujo de aire



El panel con pantalla táctil controla el caudal de aire y el sistema de adquisición de datos integrado



Un generador de humo muestra patrones de flujo alrededor de los objetos de prueba

Introducción



Soporte para el experimento del tubo Pitot-estático (Ficha 1)

Cilindro roscado unido a un transportador circular (Ficha 2)



Soporte aerodinámico (Ficha 3)



Módulo de dos fuerzas

- conectado a la sección aerodinámica (Ficha 4)
- conectados a formas de prueba (Ficha 5)



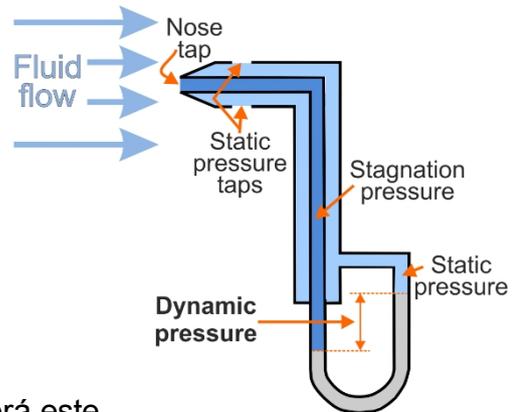
Ficha 1

Tubo Pitot-estático

Los tubos Pitot-estáticos se utilizan en vehículos como aviones y coches de carreras para controlar la velocidad del aire y, por tanto, la velocidad del vehículo.

Comparan la presión creada en un tubo (el tubo de Pitot), orientado directamente hacia el flujo de fluido, con la presión estática a su alrededor.

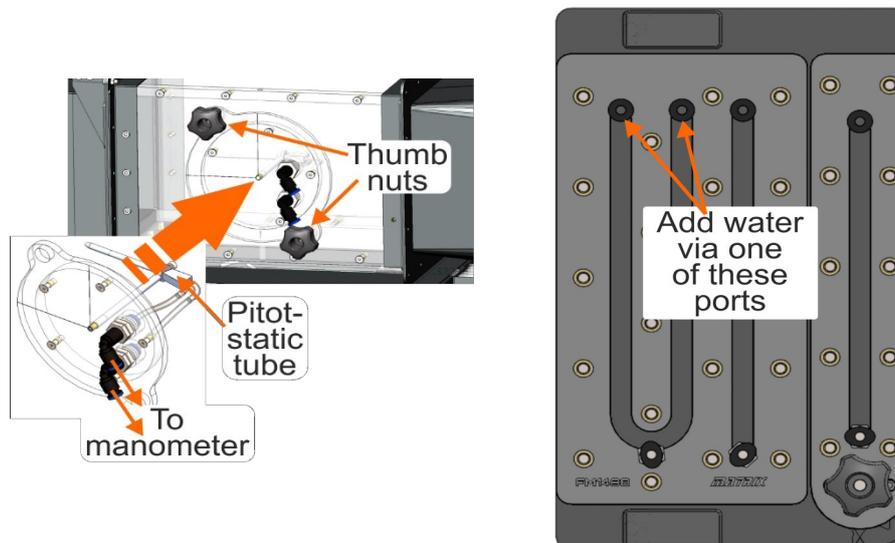
Cuanto más rápido sea el flujo del fluido, mayor será esta diferencia de presión.



Te toca a ti:

1. Utilizando el manómetro de tubo en U:

- Coloque el soporte del experimento del tubo pitot-estático en la zona de pruebas del túnel de viento y fíjelo con las dos tuercas de mariposa, como se muestra en el diagrama. Asegúrese de que el tubo apunta directamente al flujo de aire.
- Añada agua al manómetro a través de uno de los puertos identificados en el diagrama siguiente, de modo que el nivel del agua se sitúe cerca de 50.



- Conecte el soporte del experimento al manómetro de tubo en "U". (No importa qué tubo va a cada puerto. Lo importante es la *diferencia* en las alturas de las columnas de agua).
- Medir las alturas iniciales de las columnas de agua en el manómetro (es decir, al 0% de velocidad del ventilador).
- Anota la medida en la tabla del Student Handout.

Ficha 1

Tubo Pitot estático

A su disposición

- Encienda el flujo de aire en el túnel de viento pulsando el botón de "aceleración" y ajuste la velocidad del ventilador al 10%. (Al encenderlo, se pone en marcha al 10% automáticamente).
- De nuevo, mide las alturas de las columnas de agua.
- Aumente la velocidad del ventilador en pasos del 10% hasta una velocidad del 100%. Mida cada vez la altura de la columna de agua.
- Anota todas las mediciones en el Student Handout.

Y qué:

Usando la ecuación de Bernoulli, predecimos que:

$$V^2 = \frac{2 (\rho_w \times g \times h)}{\rho_a}$$

donde V = velocidad del aire,

ρ_w = densidad del agua (tomada como 1000 kg.m^{-3})

g = fuerza del campo gravitatorio = $9,81 \text{ N.kg}^{-1}$

h = diferencia de altura del manómetro en metros,

ρ_a = densidad del aire (tomada como $1,20 \text{ kg.m}^{-3}$).

- Para cada valor de velocidad del ventilador, calcula:
 - la diferencia de altura del manómetro, h , **en metros**;
 - la velocidad del aire, V , utilizando la fórmula anterior.
- Utiliza estos resultados para trazar un gráfico de la velocidad del aire frente a la diferencia de altura. Dibuja una curva suave, utilizando tus puntos como guía.

2. Utilizando el medidor de presión digital:

- Ahora separa los tubos del manómetro y conéctalos a los puertos de la unidad de control. Una vez más, no importa en qué sentido los conectes. (Lo que importa es la magnitud, así que ignora los signos menos. Lo ideal es que sea negativa, ya que la presión disminuye con la velocidad).
- Ponga a cero los sensores del panel de control.
- Tome una serie de lecturas de la velocidad del aire y (módulo de) diferencia de presión que se muestra en el medidor de presión digital, como antes, pero para velocidades de ventilador del 10% al 100%, .
- Anota todas las mediciones en el Student Handout.

Y qué:

- Traza otro gráfico de la velocidad del aire frente a la diferencia de presión, esta vez utilizando las lecturas del medidor de presión digital. De nuevo, dibuja una curva suave a través de los puntos.
-
- Calcular el número de Reynolds para cada porcentaje de velocidad del ventilador

Ficha 2

Patrones de flujo alrededor de un cilindro

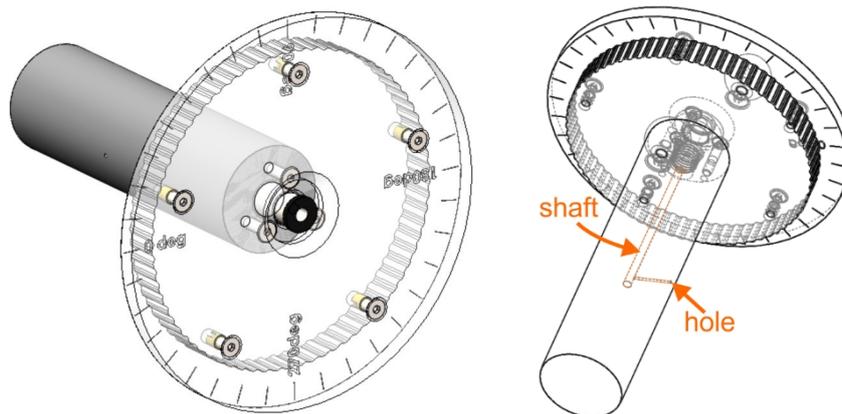
Cuando se diseñan barcos, aviones, coches, etc., el objetivo suele ser reducir la resistencia y otras fuerzas de fricción para aumentar la velocidad del vehículo o reducir su consumo de energía.

Entre los factores importantes en este sentido figuran el perfil que el vehículo presenta al flujo de fluido y la velocidad del flujo.



Te toca a ti:

El objeto es un cilindro, con un agujero en su superficie, conectado a un eje que discurre por su centro. El cilindro está unido a un transportador circular.



- Coloque el soporte del cilindro en la zona de prueba del túnel de viento y fíjelo con las tuercas de mariposa.
- El soporte dispone de un mecanismo de giro que permite girar el cilindro en 5 pasos⁰.
- Gírelo a un ángulo de ataque, θ , de 0⁰ relativo al flujo de aire. (En esta posición, el marcador de escala de 90⁰ se alinea con el marcador vertical de la ventana de prueba).
- Conecte el puerto de presión del soporte a uno de los puertos de la unidad de control. Deje el otro puerto abierto a la presión ambiente.
- Ponga a cero el sensor de presión en el panel de control, cuando la velocidad del ventilador sea cero.
- Enciende el ventilador y ponlo al 20%.
- Lea la velocidad y la presión del aire, que se muestran en el medidor de presión digital.
- Gire el cilindro en su soporte hasta un ángulo, θ , de 5⁰ y repita el procedimiento.
- Aumentar el ángulo de ataque en pasos de 5⁰ hasta un ángulo de 180⁰. Observa cada vez la lectura de presión resultante.
- Anota todas las mediciones en el Student Handout.

Ficha 2

Patrones de flujo alrededor de un cilindro

Y qué:

Entre los factores significativos que determinan el patrón de flujo que vemos alrededor de los objetos situados en una corriente de fluido se incluyen:

- el número de Reynolds, R_e , del flujo, que depende de las dimensiones, como el diámetro del cilindro, y de la velocidad y las propiedades del fluido;
- el coeficiente de presión, C_p , utilizado para obtener la distribución de la presión alrededor de un objeto sumergido en un fluido.

Se puede demostrar que:
$$C_p = \frac{(P - P_\infty)}{\frac{1}{2}\rho V^2}$$

donde P =presión en Pa en un punto determinado de la superficie del cuerpo

P_∞ = presión de la corriente libre del fluido (es decir, no perturbada por la presencia del objeto). Esto se deduce de los resultados de la primera hoja de ejercicios, en la que se utilizó el tubo pitot-estático para medir la presión del aire en la corriente libre (no perturbada) para una serie de velocidades del aire

ρ = densidad del fluido, aire en este caso, tomada como $1,20 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

V =velocidad del fluido.

- Utilice esta ecuación para calcular los valores del coeficiente de presión para cada ángulo de ataque.
(Los valores de las dos presiones de la ecuación deben tener signos negativos).
- Traza un gráfico del coeficiente de presión frente al ángulo de ataque, θ , para este valor de velocidad del aire.

(Si utilizas una hoja de cálculo como Excel para obtener el gráfico, es posible que tengas que convertir los ángulos de grados a radianes. (1 grado = 0,017 radianes)).

- Compara los resultados con la curva teórica, explica la diferencia entre ellos.

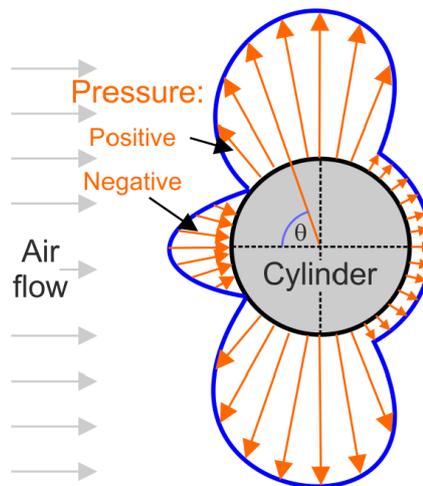
Ficha 2

Patrones de flujo alrededor de un cilindro

Y qué

La distribución de la presión alrededor de un objeto suele presentarse de la forma que se muestra a continuación:

- La presión negativa se indica mediante las flechas que fluyen alejándose del objeto.
- Para una presión positiva, las flechas fluyen hacia el objeto.



- Utiliza tus resultados para crear un diagrama de distribución de presión de este tipo.

En el Student Handout se proporciona una plantilla. Sus medidas cubren sólo el rango de 0° a 180° . El patrón es simétrico, por lo que puedes completarlo si lo deseas.

- Compara este diagrama con el gráfico que has trazado antes. En el Student Handout, comenta esta comparación.

¡Desafío!

Obtener gráficos de distribución de presión para velocidades de ventilador del 50%, 80% y 100%.

Ficha 3

Patrones de flujo alrededor de un perfil aerodinámico

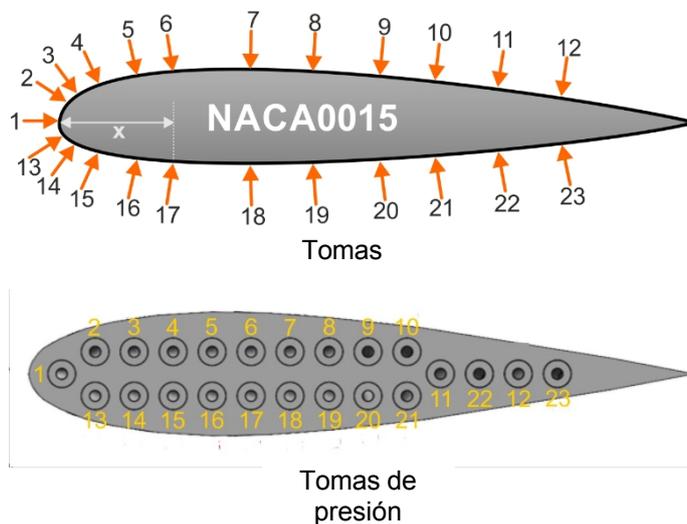
Cuando un fluido fluye alrededor de un objeto, puede generar fuerzas netas que hacen que el objeto se eleve o descienda.

La forma (perfil) que presenta el objeto determina la magnitud de estas fuerzas.

Un perfil aerodinámico aprovecha este efecto para dar sustentación a los aviones, rotación a los aerogeneradores y empuje a las hélices de los barcos.



Esta investigación explora la distribución de presión alrededor de un aerodinámico modelo, con una forma conocido como NACA0015.



Veintitrés tomas (orificios) a lo largo de la superficie de la superficie aerodinámica conducen a través de tubos internos a puertos que pueden conectarse a un medidor de presión.

De este modo, podemos tomar lecturas de la presión estática sobre la superficie de la superficie aerodinámica.

Te toca a ti:

- Coloque el soporte de la aleta en la zona de pruebas del túnel de viento y fíjelo con tuercas de mariposa.
- Gire la aleta hasta un ángulo de ataque de 0° (respecto al flujo de aire).
- Ponga a cero los sensores del panel de control.
- Encienda el ventilador y ajuste la velocidad al 25%.
- Conecte la toma '1' al puerto 1 de la caja de control. Deje el otro puerto abierto a la presión ambiente.
- Lea la velocidad del aire y la presión, que se muestra en el medidor de presión digital para ese punto de la superficie aerodinámica.
- Retire el tubo de roscado del puerto y repita este proceso para los demás roscados del perfil aerodinámico.



Ficha 3

Patrones de flujo alrededor de un perfil aerodinámico

Y qué:

Para facilitar la escala de los resultados a otras superficies aerodinámicas, la distancia desde la parte delantera de la superficie aerodinámica hasta la toma se registra como una fracción de la longitud de la cuerda de la superficie aerodinámica, en este caso 60 mm.

La tabla muestra esta distancia fraccionaria, x , para cada una de las derivaciones:

| Toma de presión | 1 | 2 13 | 3 14 | 4 15 | 5 16 | 6 17 | 7 18 | 8 19 | 9 20 | 10 21 | 11 22 | 12 23 |
|--------------------------------------------------|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|
| Distancia a lo largo de la cuerda en mm | 0 | 0.6 | 1.6 | 3.8 | 7.4 | 10.8 | 18.3 | 24.2 | 30.7 | 35.9 | 41.8 | 47.7 |
| Distancia fraccional x a lo largo de la cuerda | 0 | 0.01 | 0.03 | 0.06 | 0.12 | 0.18 | 0.30 | 0.40 | 0.51 | 0.60 | 0.70 | 0.80 |

Observa que las tomas 2 y 13, 3 y 14, etc., se encuentran a la misma distancia a lo largo de la cuerda, una en la superficie superior y otra en la inferior.

El parámetro coeficiente de presión, C_p , utilizado para describir la variación de presión a través de una superficie aerodinámica se calcula a partir de la fórmula dada anteriormente:

$$C_p = \frac{P - P_\infty}{\frac{1}{2} \rho V^2}$$

donde P = presión en la toma del ala en Pa

P_∞ = presión de flujo libre del fluido, hallada, de nuevo, a partir de los resultados de la primera hoja de cálculo.

ρ = densidad del aire, tomada como $1,20 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

V = velocidad del aire

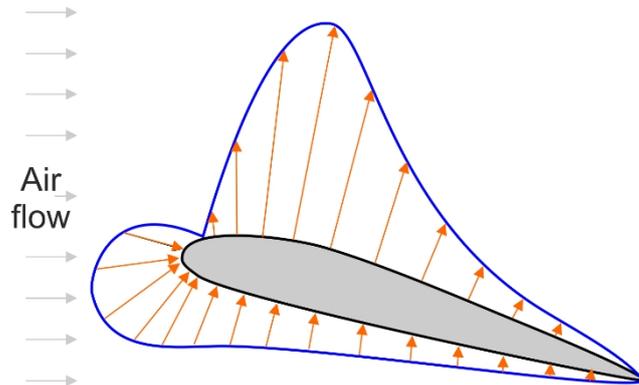
- Utiliza esta fórmula para calcular el coeficiente de presión en cada toma y añade el resultado a la tabla del Student Handout.
- Utiliza los resultados para trazar un gráfico de distribución de presión, C_p en función de x , para la superficie **superior** de la superficie aerodinámica.
- En los mismos ejes, traza un gráfico de distribución de presión para la superficie **inferior**.
- Comente lo que muestran estos gráficos.

Ficha 3

Patrones de flujo alrededor de un perfil aerodinámico

Y qué

Una vez más, es habitual mostrar estos resultados en un diagrama de distribución de la presión, como el que se muestra a continuación.



- Utiliza tus resultados para trazar un gráfico de distribución de presión, C_p en función de x , utilizando la plantilla 0° proporcionada en el Material para el alumno. (Las posiciones de las tomas se muestran en la plantilla).
- Cambia el ángulo de ataque de la aleta a 5° y repite el procedimiento. Utiliza los resultados para trazar un gráfico de distribución de la presión en la plantilla 5° proporcionada en el Student Handout.
- Ahora ajuste el ángulo de ataque a 12° y repita el proceso.

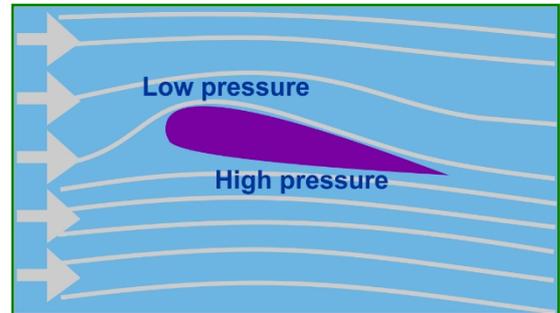
¡Desafío!

Del mismo modo, obtenga un conjunto de gráficos de distribución de presión para velocidades de ventilador del 50%, 80% y 100%.

Ficha 4

Elevación y resistencia en un perfil aerodinámico

La forma de la superficie aerodinámica hace que las líneas de aire que fluyen a su alrededor se curven. Esto requiere un gradiente de presión a través del flujo de aire, lo que conduce a una menor presión de aire en la parte superior de la lámina de aire que por debajo. El resultado es una fuerza ascendente sobre la superficie aerodinámica, que llamamos sustentación.



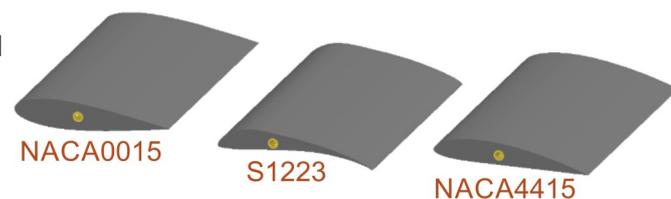
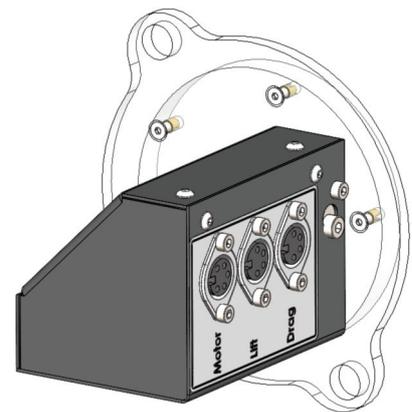
Este experimento requiere el soporte de módulo de "dos fuerzas", que se muestra al lado.

Contiene:

- dos células de carga incorporadas, una para medir las fuerzas de sustentación y la otra las de arrastre;
- un motor paso a paso para ajustar el ángulo de ataque del perfil aerodinámico.

También se muestran las superficies aerodinámicas suministradas con el kit, con los nombres de sus perfiles. Cada uno tiene un inserto roscado.

Enróscalo en el eje del extremo del soporte y fíjalo a la sección de prueba del túnel de viento con las tuercas de mariposa. Utilice los cables suministrados para conectar las tomas del soporte a las tomas correspondientes de la unidad de control.



Te toca a ti:

- Fije la superficie aerodinámica NACA0015 al soporte y colóquela en el túnel de viento.
- Gire la aleta hasta un ángulo de ataque de 0° (respecto al flujo de aire).
- Con el ventilador apagado, ponga a cero los sensores del panel de control.
- Encienda el ventilador y ajústelo a un nivel de potencia del 20%.
- Aumente el ángulo de ataque en pasos de 5° desde un ángulo de -25° a $+45^{\circ}$.
- Cada vez, lee los valores de elevación y arrastre mostrados en el panel de control y anótalos en la tabla del Student Handout.
- Aumente la velocidad del ventilador al 50% y repita el procedimiento.
- A continuación, haga lo mismo con una velocidad del ventilador del 80%.
- Completa las tablas correspondientes del Student Handout con tus resultados.

Ficha 4

Elevación y resistencia en un perfil aerodinámico

Y qué:

- En los mismos ejes, traza gráficos de la fuerza de sustentación frente al ángulo de ataque para las tres velocidades del aire y rotula cada uno. Dibuja curvas suaves utilizando los puntos experimentales como guía.
- A continuación, dibuja gráficos de la fuerza de resistencia en función del ángulo de ataque para las tres velocidades del aire.
- Comente lo que muestran estos gráficos.

Te toca a ti:

- Retire el perfil aerodinámico NACA0015 y sustitúyalo por el perfil aerodinámico S1223.
- Repita el procedimiento para obtener gráficos de sustentación y arrastre para velocidades del ventilador del 20%, 50% y 80%.
- A continuación, haga lo mismo con la superficie aerodinámica NACA4415.

Y qué:

- En los mismos ejes, traza ahora un gráfico de la fuerza de sustentación frente al ángulo de ataque para las tres superficies aerodinámicas a una velocidad del viento del 20% para comparar su rendimiento aerodinámico.
- A continuación, dibuja un segundo gráfico para comparar las fuerzas de arrastre en cada perfil aerodinámico a una velocidad de ventilador del 20%.
- Comente estas comparaciones.

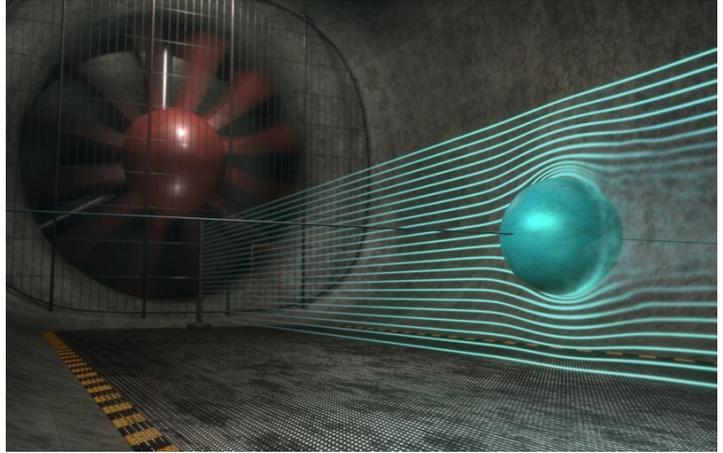
Ficha 5

Coeficiente de resistencia

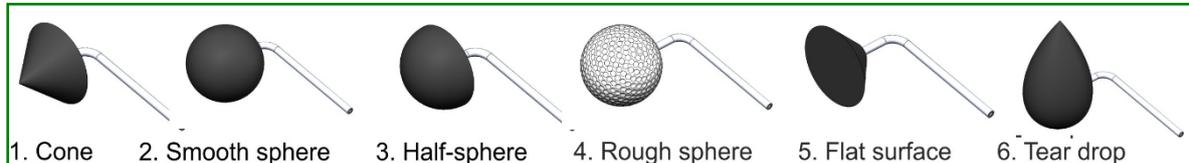
En el lenguaje cotidiano se utiliza el término "aerodinámico" para designar una forma que se desliza fácilmente por un fluido, como el aire, experimentando una resistencia mínima (arrastre).

Esta investigación explora la relación entre la forma de un objeto y las fuerzas de arrastre que produce.

El coeficiente de resistencia se calcula para varias formas. Depende de factores como la superficie y la rugosidad del objeto, así como de la velocidad del aire que lo atraviesa.



En este experimento también se utiliza el portamódulos de "dos fuerzas", con cada una de las formas de arrastre que se muestran a continuación, acopladas a su vez.



Te toca a ti:

- Fije firmemente la primera forma, el cono, al soporte de "dos fuerzas" utilizando el eje roscado.
- Colócalo en la sección de pruebas del túnel de viento y fíjalo con las tuercas de mariposa.
- Conecte el soporte del módulo a la unidad de control como antes.
- Ajuste el ángulo de ataque a 0° (relativo al flujo de aire).
- Con el ventilador apagado, ponga a cero los sensores del panel de control.
- Encienda el ventilador y ajústelo a un nivel de potencia del 10%.
- Lea los valores de velocidad del aire y fuerza de arrastre, mostrados en el panel de control.
- Aumente la velocidad del aire en pasos del 10% hasta el 100%.
- Cada vez, lee los valores de velocidad y resistencia del aire y anótalos en la primera tabla del Student Handout.

Ficha 5

Coeficiente de resistencia

Y qué:

- Para cada valor de la velocidad del aire, calcula el coeficiente de resistencia aerodinámica, utilizando la fórmula:

$$\text{coeficiente de resistencia } C_d = \frac{D}{\frac{1}{2} \rho V^2 \times A}$$

donde **D** = fuerza de arrastre en N

ρ = densidad del aire, tomada como $1,20 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

V = velocidad del aire en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

d = diámetro de la forma = $44 \text{ mm} = 0,044 \text{ m}$

- ¿Qué observas en el efecto de la velocidad del aire sobre el coeficiente de resistencia?

Te toca a ti:

- Repite el mismo procedimiento para las demás formas y completa las tablas correspondientes del Student Handout con tus resultados.

Y qué:

En la tabla siguiente figuran los valores teóricos de los coeficientes de resistencia aerodinámica de estas formas.

| Forma | Coeficiente de resistencia |
|------------------|----------------------------|
| Cono | 0.5 |
| Esfera lisa | 0.47 |
| Media esfera | 0.42 |
| Esfera rugosa | 0.2 |
| Superficie plana | 1.1 |
| Lágrima | 0.04 |

Algunos de estos valores varían en función de la forma precisa del objeto y de las condiciones en el que se realizan las mediciones.

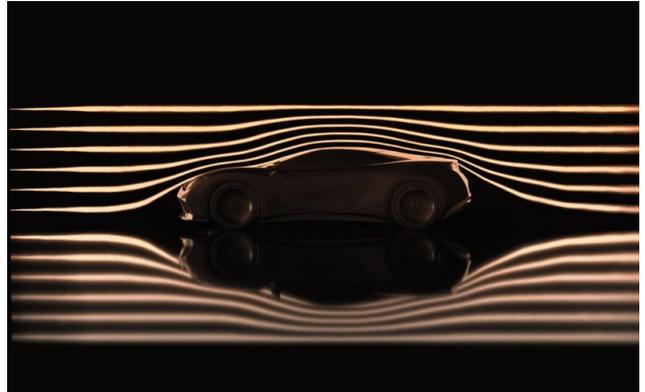
- Compara tus resultados con los valores indicados en la tabla y coméntalo en el Student Handout.
- En el Student Handout, responde a estas preguntas, utilizando tus resultados según proceda:
 - Un coche moderno tiene un coeficiente de resistencia aerodinámica de entre 0,2 y 0,3. Cuál de estas formas es más probable que se elija para un coche aerodinámico?
 - ¿Por qué tienen hoyuelos las pelotas de golf?

Ficha 6

¿Racionalizado?

Los túneles aerodinámicos se utilizan a menudo para obtener imágenes del flujo de aire alrededor de objetos como coches, aviones y edificios con el fin de mejorar su diseño.

En esta investigación, se utilizan corrientes de humo que soplan alrededor de objetos colocados en la corriente de aire para crear estas imágenes.



El procedimiento preciso de esta investigación depende exactamente de lo que se quiera investigar y del equipo de que se disponga, por lo que las instrucciones que se dan a continuación son sólo orientaciones generales.

Es posible tomar fotografías que muestren los patrones producidos por las corrientes de humo, pero se trata de "aciertos y errores" porque cambian rápidamente.

Una alternativa es crear un videoclip utilizando la función de cámara lenta disponible en muchos teléfonos móviles.

Te toca a ti:

- Fije firmemente el objeto que le interese al módulo "dos fuerzas".
- Colóquelo en la sección de pruebas del túnel de viento en el ángulo deseado.
- Para empezar, encienda el ventilador a baja velocidad.
- Sujeta la salida del generador de humo cerca del centro de la rejilla de entrada del túnel de viento.
- Ajusta su posición para mejorar el patrón del humo que fluye alrededor del objeto.
- Una vez que estés satisfecho con el patrón, utiliza la cámara de un teléfono móvil para hacer fotos o, preferiblemente, un vídeo a cámara lenta del patrón de humo.
- Experimente con otras velocidades del ventilador y otros ángulos de ataque.

Ficha 7

¿Y ahora qué?

Y ahora... ¡a usted absolutamente!

¿Cuál es su área de interés:

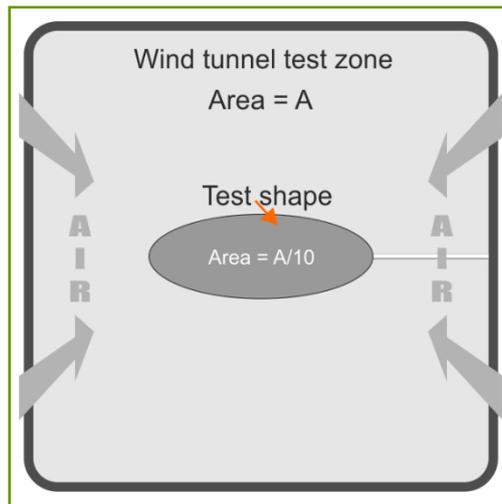
- forma de la carrocería;
- aeronáutica;
- diseño del casco del buque;
- ¿eficiencia de las turbinas eólicas?

En este punto, investiga una forma de tu propia creación.



Directrices

El tamaño de la forma que produzcas es importante. Mantén la superficie expuesta a la corriente de aire por debajo del 10% de la sección transversal de la zona de prueba del túnel de viento, que tiene unas dimensiones de 125 mm x 125 mm.



Te toca a ti:

- Si lo has impreso en "3D", es posible que hayas incluido una toma para detectar la presión. En ese caso, conéctalo y procede como en la ficha 2.
- Si te interesan las fuerzas ejercidas sobre la forma por el flujo de aire, procede como en las hojas de trabajo 4 y 5.
- Puede que te interese el flujo de aire alrededor de la forma, en cuyo caso procede como en la ficha 6.

Estudiante Folleto

Folleto para el alumno

Ficha 1 - Tubo Pitot-estático

1. Utilizando el manómetro de tubo en U:

| Ventilador velocidad % | Altura de la columna izquierda en mm | Altura columna derecha en mm | Diferencia de altura h en m | Velocidad del aire V en m.s ⁻¹ |
|------------------------|--------------------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------|
| 0 | | | | |
| 10 | | | | |
| 20 | | | | |
| 30 | | | | |
| 40 | | | | |
| 50 | | | | |
| 60 | | | | |
| 70 | | | | |
| 80 | | | | |
| 90 | | | | |
| 100 | | | | |

2. Uso del sensor de presión digital:

| Velocidad del ventilador % | Lectura de presión en Pa | Velocidad del aire V en m.s ⁻¹ |
|----------------------------|--------------------------|-------------------------------------------|
| 0 | | |
| 10 | | |
| 20 | | |
| 30 | | |
| 40 | | |
| 50 | | |
| 60 | | |
| 70 | | |
| 80 | | |
| 90 | | |
| 100 | | |

Folleto para el alumno

Ficha 2 - Flujos alrededor de un cilindro

Velocidad del ventilador = 20%.

| Ángulo de ataque | Diferencia de presión en Pa | Coefficient e de presión C_p |
|------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| 00 | | |
| 50 | | |
| 10 ⁰ | | |
| 15 ⁰ | | |
| 20 ⁰ | | |
| 25 ⁰ | | |
| 30 ⁰ | | |
| 35 ⁰ | | |
| 40 ⁰ | | |
| 45 ⁰ | | |
| 50 ⁰ | | |
| 55 ⁰ | | |
| 60 ⁰ | | |
| 65 ⁰ | | |
| 70 ⁰ | | |
| 75 ⁰ | | |
| 80 ⁰ | | |
| 85 ⁰ | | |
| 90 ⁰ | | |

| Ángulo de ataque | Diferencia de presión en Pa | Coefficient e de presión C_p |
|------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| 95 ⁰ | | |
| 100 ⁰ | | |
| 105 ⁰ | | |
| 110 ⁰ | | |
| 115 ⁰ | | |
| 120 ⁰ | | |
| 125 ⁰ | | |
| 130 ⁰ | | |
| 135 ⁰ | | |
| 140 ⁰ | | |
| 145 ⁰ | | |
| 150 ⁰ | | |
| 155 ⁰ | | |
| 160 ⁰ | | |
| 165 ⁰ | | |
| 170 ⁰ | | |
| 175 ⁰ | | |
| 180 ⁰ | | |
| | | |

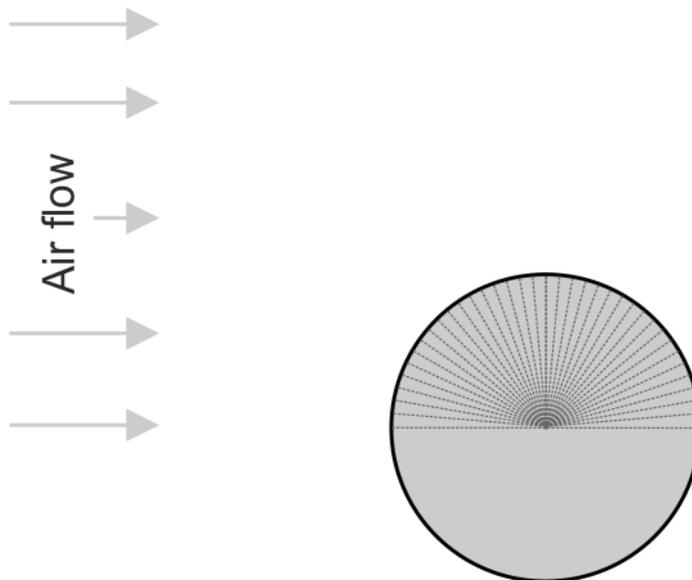


Diagrama de distribución de la presión

Folleto para el alumno

Ficha 2 - Flujos alrededor de un cilindro

¡Desafío! Velocidad del ventilador
=

| Ángulo de ataque | Diferencia de presión en Pa | Coefficient e de presión C_p |
|------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| 00 | | |
| 50 | | |
| 10 ⁰ | | |
| 15 ⁰ | | |
| 20 ⁰ | | |
| 25 ⁰ | | |
| 30 ⁰ | | |
| 35 ⁰ | | |
| 40 ⁰ | | |
| 45 ⁰ | | |
| 50 ⁰ | | |
| 55 ⁰ | | |
| 60 ⁰ | | |
| 65 ⁰ | | |
| 70 ⁰ | | |
| 75 ⁰ | | |
| 80 ⁰ | | |
| 85 ⁰ | | |
| 90 ⁰ | | |

| Ángulo de ataque | Diferencia de presión en Pa | Coefficient e de presión C_p |
|------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| 95 ⁰ | | |
| 100 ⁰ | | |
| 105 ⁰ | | |
| 110 ⁰ | | |
| 115 ⁰ | | |
| 120 ⁰ | | |
| 125 ⁰ | | |
| 130 ⁰ | | |
| 135 ⁰ | | |
| 140 ⁰ | | |
| 145 ⁰ | | |
| 150 ⁰ | | |
| 155 ⁰ | | |
| 160 ⁰ | | |
| 165 ⁰ | | |
| 170 ⁰ | | |
| 175 ⁰ | | |
| 180 ⁰ | | |
| | | |

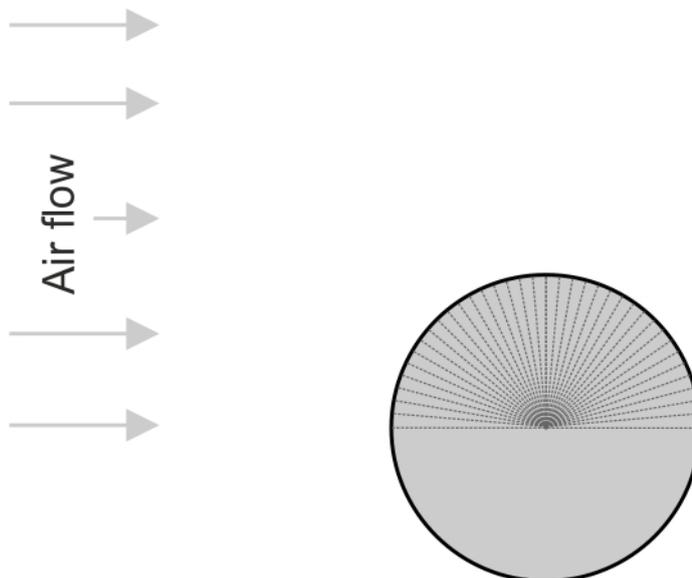


Diagrama de distribución de la presión

Folleto para el alumno

Ficha 2 - Flujos alrededor de un cilindro

¡Desafío! Velocidad del ventilador
=

| Ángulo de ataque | Diferencia de presión en Pa | Coefficient e de presión C_p |
|------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| 00 | | |
| 50 | | |
| 10 ⁰ | | |
| 15 ⁰ | | |
| 20 ⁰ | | |
| 25 ⁰ | | |
| 30 ⁰ | | |
| 35 ⁰ | | |
| 40 ⁰ | | |
| 45 ⁰ | | |
| 50 ⁰ | | |
| 55 ⁰ | | |
| 60 ⁰ | | |
| 65 ⁰ | | |
| 70 ⁰ | | |
| 75 ⁰ | | |
| 80 ⁰ | | |
| 85 ⁰ | | |
| 90 ⁰ | | |

| Ángulo de ataque | Diferencia de presión en Pa | Coefficient e de presión C_p |
|------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| 95 ⁰ | | |
| 100 ⁰ | | |
| 105 ⁰ | | |
| 110 ⁰ | | |
| 115 ⁰ | | |
| 120 ⁰ | | |
| 125 ⁰ | | |
| 130 ⁰ | | |
| 135 ⁰ | | |
| 140 ⁰ | | |
| 145 ⁰ | | |
| 150 ⁰ | | |
| 155 ⁰ | | |
| 160 ⁰ | | |
| 165 ⁰ | | |
| 170 ⁰ | | |
| 175 ⁰ | | |
| 180 ⁰ | | |
| | | |

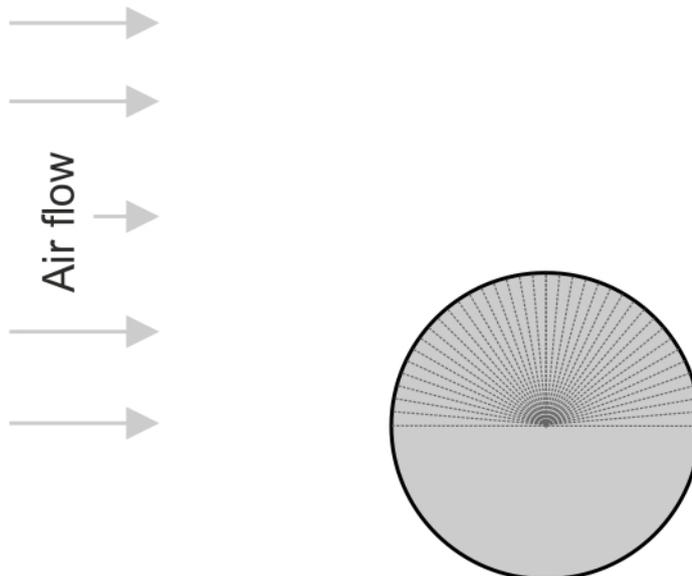


Diagrama de distribución de la presión

Folleto para el alumno

Ficha 2 - Flujos alrededor de un cilindro

¡Desafío! Velocidad del ventilador
=

| Ángulo de ataque | Diferencia de presión en Pa | Coefficient e de presión C_p |
|------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| 00 | | |
| 50 | | |
| 10 ⁰ | | |
| 15 ⁰ | | |
| 20 ⁰ | | |
| 25 ⁰ | | |
| 30 ⁰ | | |
| 35 ⁰ | | |
| 40 ⁰ | | |
| 45 ⁰ | | |
| 50 ⁰ | | |
| 55 ⁰ | | |
| 60 ⁰ | | |
| 65 ⁰ | | |
| 70 ⁰ | | |
| 75 ⁰ | | |
| 80 ⁰ | | |
| 85 ⁰ | | |
| 90 ⁰ | | |

| Ángulo de ataque | Diferencia de presión en Pa | Coefficient e de presión C_p |
|------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| 95 ⁰ | | |
| 100 ⁰ | | |
| 105 ⁰ | | |
| 110 ⁰ | | |
| 115 ⁰ | | |
| 120 ⁰ | | |
| 125 ⁰ | | |
| 130 ⁰ | | |
| 135 ⁰ | | |
| 140 ⁰ | | |
| 145 ⁰ | | |
| 150 ⁰ | | |
| 155 ⁰ | | |
| 160 ⁰ | | |
| 165 ⁰ | | |
| 170 ⁰ | | |
| 175 ⁰ | | |
| 180 ⁰ | | |
| | | |

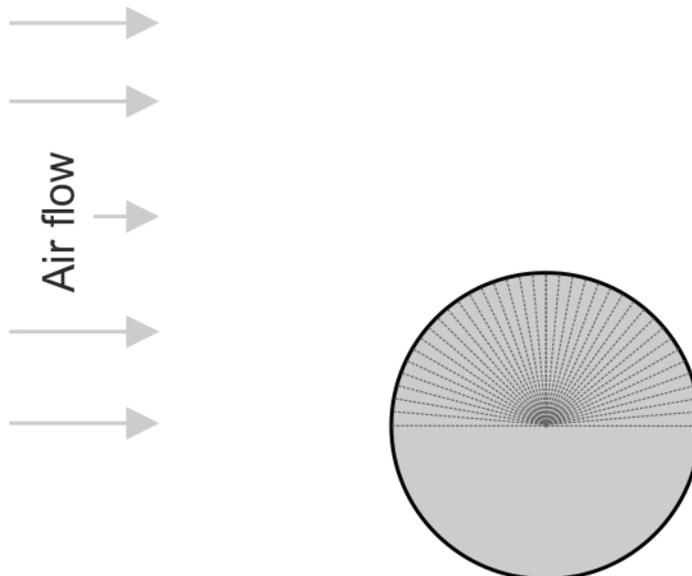


Diagrama de distribución de la presión

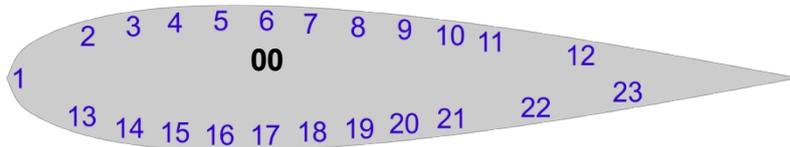
Folleto para el alumno

Ficha 3 - Patrones de flujo alrededor de una superficie aerodinámica

Angulo de ataque = 0° Velocidad del ventilador = 25%.

| Superficie superior: | | | | Superficie inferior: | | | |
|---------------------------|-----------------------------------------------|-----------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------|-----------------|-----------------------------|
| Número de toma de presión | Distancia fraccionaria x a lo largo de acorde | Presión p en Pa | Coficiente de presión C_p | Número de toma de presión | Distancia fraccionaria x a lo largo de acorde | Presión p en Pa | Coficiente de presión C_p |
| 1 | 0 | | | | | | |
| 2 | 0.01 | | | 13 | 0.01 | | |
| 3 | 0.03 | | | 14 | 0.03 | | |
| 4 | 0.06 | | | 15 | 0.06 | | |
| 5 | 0.12 | | | 16 | 0.12 | | |
| 6 | 0.18 | | | 17 | 0.18 | | |
| 7 | 0.30 | | | 18 | 0.30 | | |
| 8 | 0.40 | | | 19 | 0.40 | | |
| 9 | 0.51 | | | 20 | 0.51 | | |
| 10 | 0.60 | | | 21 | 0.60 | | |
| 11 | 0.70 | | | 22 | 0.70 | | |
| 12 | 0.80 | | | 23 | 0.80 | | |

Diagrama de distribución de la presión:



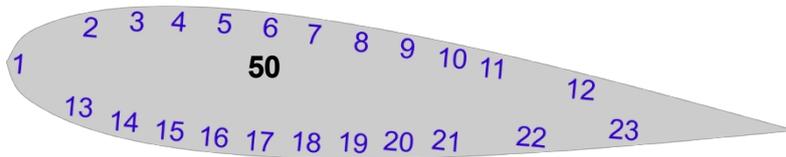
Folleto para el alumno

Ficha 3 - Patrones de flujo alrededor de una superficie aerodinámica

Angulo de ataque = 5° Velocidad del ventilador = 25%.

| Superficie superior: | | | | Superficie inferior: | | | |
|---------------------------|-----------------------------------------------|-----------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------|-----------------|-----------------------------|
| Número de toma de presión | Distancia fraccionaria x a lo largo de acorde | Presión p en Pa | Coficiente de presión C_p | Número de toma de presión | Distancia fraccionaria x a lo largo de acorde | Presión p en Pa | Coficiente de presión C_p |
| 1 | 0 | | | | | | |
| 2 | 0.01 | | | 13 | 0.01 | | |
| 3 | 0.03 | | | 14 | 0.03 | | |
| 4 | 0.06 | | | 15 | 0.06 | | |
| 5 | 0.12 | | | 16 | 0.12 | | |
| 6 | 0.18 | | | 17 | 0.18 | | |
| 7 | 0.30 | | | 18 | 0.30 | | |
| 8 | 0.40 | | | 19 | 0.40 | | |
| 9 | 0.51 | | | 20 | 0.51 | | |
| 10 | 0.60 | | | 21 | 0.60 | | |
| 11 | 0.70 | | | 22 | 0.70 | | |
| 12 | 0.80 | | | 23 | 0.80 | | |

Diagrama de distribución de la presión:



Folleto para el alumno

Ficha 3 - Patrones de flujo alrededor de una superficie aerodinámica

Ángulo de ataque = 12° Velocidad del ventilador = 25% .

Ve

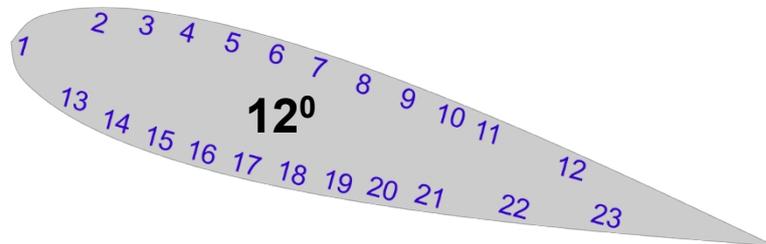
Superficie superior: Superficie

inferior:

| Número de toma de presión | Distancia fraccionaria x a lo largo de acorde | Presión p en Pa | Coficiente de presión C_p |
|---------------------------|-----------------------------------------------|-----------------|-----------------------------|
| 1 | 0 | | |
| 2 | 0.01 | | |
| 3 | 0.03 | | |
| 4 | 0.06 | | |
| 5 | 0.12 | | |
| 6 | 0.18 | | |
| 7 | 0.30 | | |
| 8 | 0.40 | | |
| 9 | 0.51 | | |
| 10 | 0.60 | | |
| 11 | 0.70 | | |
| 12 | 0.80 | | |

| Número de toma de presión | Distancia fraccionaria x a lo largo de acorde | Presión p en Pa | Coficiente de presión C_p |
|---------------------------|-----------------------------------------------|-----------------|-----------------------------|
| 13 | 0.01 | | |
| 14 | 0.03 | | |
| 15 | 0.06 | | |
| 16 | 0.12 | | |
| 17 | 0.18 | | |
| 18 | 0.30 | | |
| 19 | 0.40 | | |
| 20 | 0.51 | | |
| 21 | 0.60 | | |
| 22 | 0.70 | | |
| 23 | 0.80 | | |

Diagrama de distribución de la presión:

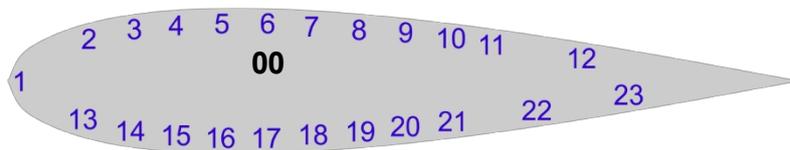


Folleto para el alumno

Ficha 3 - Patrones de flujo alrededor de una superficie aerodinámica
 Desafío $\theta = 0^\circ$ Velocidad del ventilador = 50%.

| Superficie superior: | | | | Superficie inferior: | | | |
|---------------------------|-------------------------------------------------|-------------------|-------------------------------|---------------------------|-------------------------------------------------|-------------------|-------------------------------|
| Número de toma de presión | Distancia fraccionaria x a lo largo de acorde | Presión p en Pa | Coefficiente de presión C_p | Número de toma de presión | Distancia fraccionaria x a lo largo de acorde | Presión p en Pa | Coefficiente de presión C_p |
| 1 | 0 | | | | | | |
| 2 | 0.01 | | | 13 | 0.01 | | |
| 3 | 0.03 | | | 14 | 0.03 | | |
| 4 | 0.06 | | | 15 | 0.06 | | |
| 5 | 0.12 | | | 16 | 0.12 | | |
| 6 | 0.18 | | | 17 | 0.18 | | |
| 7 | 0.30 | | | 18 | 0.30 | | |
| 8 | 0.40 | | | 19 | 0.40 | | |
| 9 | 0.51 | | | 20 | 0.51 | | |
| 10 | 0.60 | | | 21 | 0.60 | | |
| 11 | 0.70 | | | 22 | 0.70 | | |
| 12 | 0.80 | | | 23 | 0.80 | | |

Diagrama de distribución de la presión:

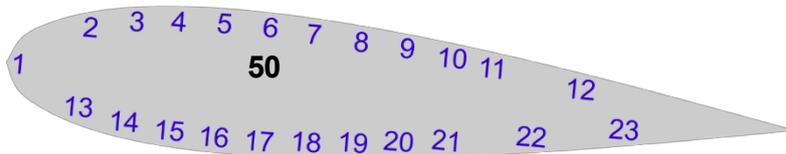


Folleto para el alumno

Ficha 3 - Patrones de flujo alrededor de una superficie aerodinámica
 Desafío: Ángulo de ataque = 5° Velocidad del ventilador = 50%.

| Superficie superior: | | | | Superficie inferior: | | | |
|---------------------------|-----------------------------------------------|-----------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------|-----------------|-----------------------------|
| Número de toma de presión | Distancia fraccionaria x a lo largo de acorde | Presión p en Pa | Coficiente de presión C_p | Número de toma de presión | Distancia fraccionaria x a lo largo de acorde | Presión p en Pa | Coficiente de presión C_p |
| 1 | 0 | | | | | | |
| 2 | 0.01 | | | 13 | 0.01 | | |
| 3 | 0.03 | | | 14 | 0.03 | | |
| 4 | 0.06 | | | 15 | 0.06 | | |
| 5 | 0.12 | | | 16 | 0.12 | | |
| 6 | 0.18 | | | 17 | 0.18 | | |
| 7 | 0.30 | | | 18 | 0.30 | | |
| 8 | 0.40 | | | 19 | 0.40 | | |
| 9 | 0.51 | | | 20 | 0.51 | | |
| 10 | 0.60 | | | 21 | 0.60 | | |
| 11 | 0.70 | | | 22 | 0.70 | | |
| 12 | 0.80 | | | 23 | 0.80 | | |

Diagrama de distribución de la presión:



Folleto para el alumno

Ficha 3 - Patrones de flujo alrededor de un perfil aerodinámico

Desafío Ángulo de ataque = 12° Velocidad del ventilador = 50%.

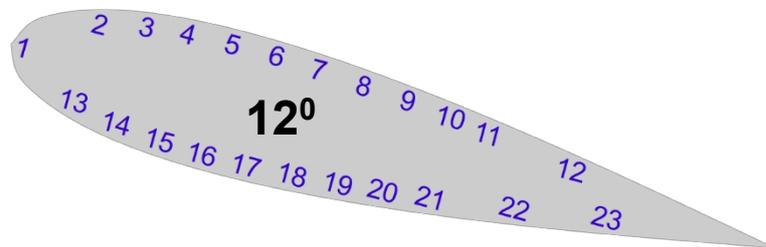
Superficie superior:

| Número de toma de presión | Distancia fraccionaria x a lo largo de acorde | Presión p en Pa | Coficiente de presión C_p |
|---------------------------|-----------------------------------------------|-----------------|-----------------------------|
| 1 | 0 | | |
| 2 | 0.01 | | |
| 3 | 0.03 | | |
| 4 | 0.06 | | |
| 5 | 0.12 | | |
| 6 | 0.18 | | |
| 7 | 0.30 | | |
| 8 | 0.40 | | |
| 9 | 0.51 | | |
| 10 | 0.60 | | |
| 11 | 0.70 | | |
| 12 | 0.80 | | |

Superficie inferior:

| Número de toma de presión | Distancia fraccionaria x a lo largo de acorde | Presión p en Pa | Coficiente de presión C_p |
|---------------------------|-----------------------------------------------|-----------------|-----------------------------|
| 13 | 0.01 | | |
| 14 | 0.03 | | |
| 15 | 0.06 | | |
| 16 | 0.12 | | |
| 17 | 0.18 | | |
| 18 | 0.30 | | |
| 19 | 0.40 | | |
| 20 | 0.51 | | |
| 21 | 0.60 | | |
| 22 | 0.70 | | |
| 23 | 0.80 | | |

Diagrama de distribución de la presión:

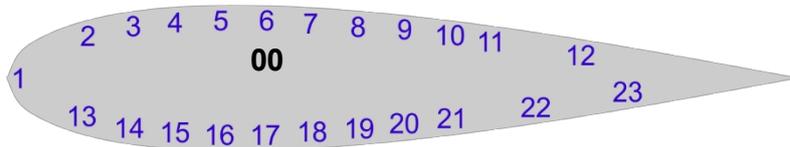


Folleto para el alumno

Ficha 3 - Patrones de flujo alrededor de una superficie aerodinámica
 Desafío $\text{Ángulo de ataque} = 0^\circ$ Velocidad del ventilador = 80%

| Superficie superior: | | | | Superficie inferior: | | | |
|---------------------------|-------------------------------------------------|-------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------------------------------|-------------------|-----------------------------|
| Número de toma de presión | Distancia fraccionaria x a lo largo de acorde | Presión p en Pa | Coficiente de presión C_p | Número de toma de presión | Distancia fraccionaria x a lo largo de acorde | Presión p en Pa | Coficiente de presión C_p |
| 1 | 0 | | | | | | |
| 2 | 0.01 | | | 13 | 0.01 | | |
| 3 | 0.03 | | | 14 | 0.03 | | |
| 4 | 0.06 | | | 15 | 0.06 | | |
| 5 | 0.12 | | | 16 | 0.12 | | |
| 6 | 0.18 | | | 17 | 0.18 | | |
| 7 | 0.30 | | | 18 | 0.30 | | |
| 8 | 0.40 | | | 19 | 0.40 | | |
| 9 | 0.51 | | | 20 | 0.51 | | |
| 10 | 0.60 | | | 21 | 0.60 | | |
| 11 | 0.70 | | | 22 | 0.70 | | |
| 12 | 0.80 | | | 23 | 0.80 | | |

Diagrama de distribución de la presión:



Folleto para el alumno

Ficha 3 - Patrones de flujo alrededor de una superficie aerodinámica

Desafío **Ángulo de ataque = 5° Velocidad del ventilador = 80%**

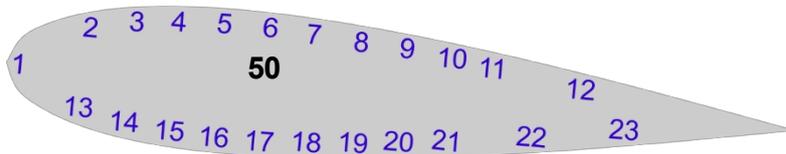
Superficie superior:

Superficie inferior:

| Número de toma de presión | Distancia fraccionaria x a lo largo de acorde | Presión p en Pa | Coficiente de presión C_p |
|---------------------------|-----------------------------------------------|-----------------|-----------------------------|
| 1 | 0 | | |
| 2 | 0.01 | | |
| 3 | 0.03 | | |
| 4 | 0.06 | | |
| 5 | 0.12 | | |
| 6 | 0.18 | | |
| 7 | 0.30 | | |
| 8 | 0.40 | | |
| 9 | 0.51 | | |
| 10 | 0.60 | | |
| 11 | 0.70 | | |
| 12 | 0.80 | | |

| Número de toma de presión | Distancia fraccionaria x a lo largo de acorde | Presión p en Pa | Coficiente de presión C_p |
|---------------------------|-----------------------------------------------|-----------------|-----------------------------|
| 13 | 0.01 | | |
| 14 | 0.03 | | |
| 15 | 0.06 | | |
| 16 | 0.12 | | |
| 17 | 0.18 | | |
| 18 | 0.30 | | |
| 19 | 0.40 | | |
| 20 | 0.51 | | |
| 21 | 0.60 | | |
| 22 | 0.70 | | |
| 23 | 0.80 | | |

Diagrama de distribución de la presión:



Folleto para el alumno

Ficha 3 - Patrones de flujo alrededor de un perfil aerodinámico

Desafío Ángulo de ataque = 12° Velocidad del ventilador = 80%.

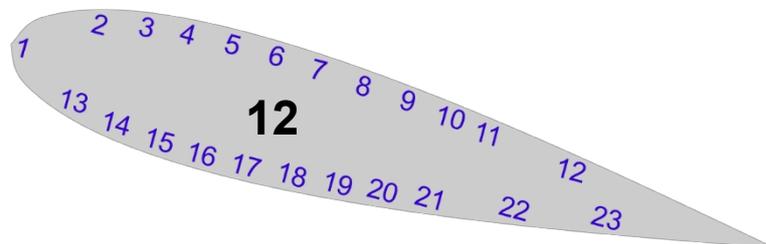
Superficie superior:

| Número de toma de presión | Distancia fraccionaria x a lo largo de acorde | Presión p en Pa | Coficiente de presión C_p |
|---------------------------|-------------------------------------------------|-------------------|-----------------------------|
| 1 | 0 | | |
| 2 | 0.01 | | |
| 3 | 0.03 | | |
| 4 | 0.06 | | |
| 5 | 0.12 | | |
| 6 | 0.18 | | |
| 7 | 0.30 | | |
| 8 | 0.40 | | |
| 9 | 0.51 | | |
| 10 | 0.60 | | |
| 11 | 0.70 | | |
| 12 | 0.80 | | |

Superficie inferior:

| Número de toma de presión | Distancia fraccionaria x a lo largo de acorde | Presión p en Pa | Coficiente de presión C_p |
|---------------------------|-------------------------------------------------|-------------------|-----------------------------|
| | | | |
| 13 | 0.01 | | |
| 14 | 0.03 | | |
| 15 | 0.06 | | |
| 16 | 0.12 | | |
| 17 | 0.18 | | |
| 18 | 0.30 | | |
| 19 | 0.40 | | |
| 20 | 0.51 | | |
| 21 | 0.60 | | |
| 22 | 0.70 | | |
| 23 | 0.80 | | |

Diagrama de distribución de la presión:

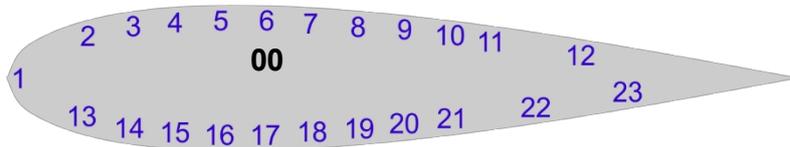


Folleto para el alumno

Ficha 3 - Patrones de flujo alrededor de una superficie aerodinámica
 Desafío: Ángulo de ataque = 0° Velocidad del ventilador = 100%

| Superficie superior: | | | | Superficie inferior: | | | |
|---------------------------|-----------------------------------------------|-----------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------|-----------------|-----------------------------|
| Número de toma de presión | Distancia fraccionaria x a lo largo de acorde | Presión p en Pa | Coficiente de presión C_p | Número de toma de presión | Distancia fraccionaria x a lo largo de acorde | Presión p en Pa | Coficiente de presión C_p |
| 1 | 0 | | | | | | |
| 2 | 0.01 | | | 13 | 0.01 | | |
| 3 | 0.03 | | | 14 | 0.03 | | |
| 4 | 0.06 | | | 15 | 0.06 | | |
| 5 | 0.12 | | | 16 | 0.12 | | |
| 6 | 0.18 | | | 17 | 0.18 | | |
| 7 | 0.30 | | | 18 | 0.30 | | |
| 8 | 0.40 | | | 19 | 0.40 | | |
| 9 | 0.51 | | | 20 | 0.51 | | |
| 10 | 0.60 | | | 21 | 0.60 | | |
| 11 | 0.70 | | | 22 | 0.70 | | |
| 12 | 0.80 | | | 23 | 0.80 | | |

Diagrama de distribución de la presión:

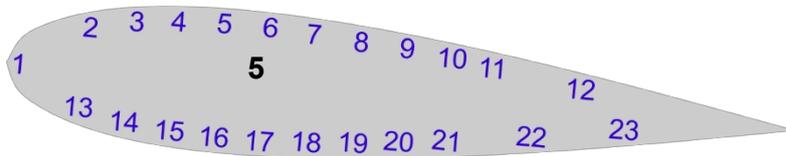


Folleto para el alumno

Ficha 3 - Patrones de flujo alrededor de una superficie aerodinámica
 Desafío $\text{Ángulo de ataque} = 5^\circ$ Velocidad del ventilador = 100%

| Superficie Superior: | | | | Superficie inferior: | | | |
|---------------------------|-----------------------------------------------|-----------------|-------------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------|-----------------|-------------------------------|
| Número de toma de presión | Distancia fraccionaria x a lo largo de acorde | Presión p en Pa | Coefficiente de presión C_p | Número de toma de presión | Distancia fraccionaria x a lo largo de acorde | Presión p en Pa | Coefficiente de presión C_p |
| 1 | 0 | | | | | | |
| 2 | 0.01 | | | 13 | 0.01 | | |
| 3 | 0.03 | | | 14 | 0.03 | | |
| 4 | 0.06 | | | 15 | 0.06 | | |
| 5 | 0.12 | | | 16 | 0.12 | | |
| 6 | 0.18 | | | 17 | 0.18 | | |
| 7 | 0.30 | | | 18 | 0.30 | | |
| 8 | 0.40 | | | 19 | 0.40 | | |
| 9 | 0.51 | | | 20 | 0.51 | | |
| 10 | 0.60 | | | 21 | 0.60 | | |
| 11 | 0.70 | | | 22 | 0.70 | | |
| 12 | 0.80 | | | 23 | 0.80 | | |

Diagrama de distribución de la presión:



Folleto para el alumno

Ficha 3 - Patrones de flujo alrededor de un perfil aerodinámico

Desafío Ángulo de ataque = 12° Velocidad del ventilador = 100%.

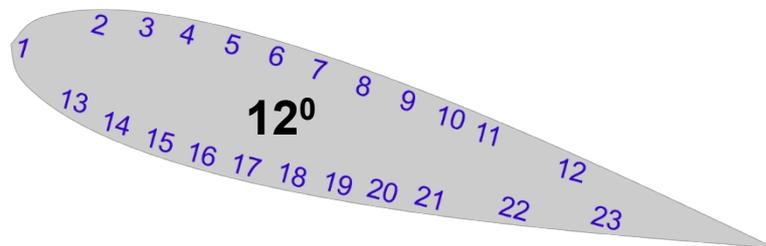
Superficie superior:

| Número de toma de presión | Distancia fraccionaria x a lo largo de acorde | Presión p en Pa | Coficiente de presión C_p |
|---------------------------|-------------------------------------------------|-------------------|-----------------------------|
| 1 | 0 | | |
| 2 | 0.01 | | |
| 3 | 0.03 | | |
| 4 | 0.06 | | |
| 5 | 0.12 | | |
| 6 | 0.18 | | |
| 7 | 0.30 | | |
| 8 | 0.40 | | |
| 9 | 0.51 | | |
| 10 | 0.60 | | |
| 11 | 0.70 | | |
| 12 | 0.80 | | |

Superficie inferior:

| Número de toma de presión | Distancia fraccionaria x a lo largo de acorde | Presión p en Pa | Coficiente de presión C_p |
|---------------------------|-------------------------------------------------|-------------------|-----------------------------|
| 13 | 0.01 | | |
| 14 | 0.03 | | |
| 15 | 0.06 | | |
| 16 | 0.12 | | |
| 17 | 0.18 | | |
| 18 | 0.30 | | |
| 19 | 0.40 | | |
| 20 | 0.51 | | |
| 21 | 0.60 | | |
| 22 | 0.70 | | |
| 23 | 0.80 | | |

Diagrama de distribución de la presión:



Folleto para el alumno

Ficha 4 - Elevación y resistencia en una superficie aerodinámica NACA0015

Velocidad del ventilador = 20% Velocidad del ventilador = 50%

| Ángulo de ataque | Fuerza de elevación en N | Fuerza de arrastre en N |
|------------------|--------------------------|-------------------------|
| -25° | | |
| -20° | | |
| -15° | | |
| -10° | | |
| -5° | | |
| 0° | | |
| 5° | | |
| 10° | | |
| 15° | | |
| 20° | | |
| 25° | | |
| 30° | | |
| 35° | | |
| 40° | | |
| 45° | | |

| Ángulo de ataque | Fuerza de elevación en N | Fuerza de arrastre en N |
|------------------|--------------------------|-------------------------|
| -25° | | |
| -20° | | |
| -15° | | |
| -10° | | |
| -5° | | |
| 0° | | |
| 5° | | |
| 10° | | |
| 15° | | |
| 20° | | |
| 25° | | |
| 30° | | |
| 35° | | |
| 40° | | |
| 45° | | |

| Ángulo de ataque | Fuerza de elevación en N | Fuerza de arrastre en N |
|------------------|--------------------------|-------------------------|
| -25° | | |
| -20° | | |
| -15° | | |
| -10° | | |
| -5° | | |
| 0° | | |
| 5° | | |
| 10° | | |
| 15° | | |
| 20° | | |
| 25° | | |
| 30° | | |
| 35° | | |
| 40° | | |
| 45° | | |

Velocidad del ventilador = 80%

Folleto para el alumno

Ficha 4 - Elevación y resistencia en una superficie aerodinámica S1223

Velocidad del ventilador = 20% Velocidad del ventilador = 50%

| Ángulo de ataque | Fuerza de elevación en N | Fuerza de arrastre en N |
|------------------|--------------------------|-------------------------|
| -25° | | |
| -20° | | |
| -15° | | |
| -10° | | |
| -5° | | |
| 0° | | |
| 5° | | |
| 10° | | |
| 15° | | |
| 20° | | |
| 25° | | |
| 30° | | |
| 35° | | |
| 40° | | |
| 45° | | |

| Ángulo de ataque | Fuerza de elevación en N | Fuerza de arrastre en N |
|------------------|--------------------------|-------------------------|
| -25° | | |
| -20° | | |
| -15° | | |
| -10° | | |
| -5° | | |
| 0° | | |
| 5° | | |
| 10° | | |
| 15° | | |
| 20° | | |
| 25° | | |
| 30° | | |
| 35° | | |
| 40° | | |
| 45° | | |

| Ángulo de ataque | Fuerza de elevación en N | Fuerza de arrastre en N |
|------------------|--------------------------|-------------------------|
| -25° | | |
| -20° | | |
| -15° | | |
| -10° | | |
| -5° | | |
| 0° | | |
| 5° | | |
| 10° | | |
| 15° | | |
| 20° | | |
| 25° | | |
| 30° | | |
| 35° | | |
| 40° | | |
| 45° | | |

Velocidad del ventilador = 80%

Folleto para el alumno

Ficha 4 - Elevación y resistencia en una superficie aerodinámica NACA4415

Velocidad del ventilador = 20% Velocidad del ventilador = 50%

| Ángulo de ataque | Fuerza de elevación en N | Fuerza de arrastre en N |
|------------------|--------------------------|-------------------------|
| -25° | | |
| -20° | | |
| -15° | | |
| -10° | | |
| -5° | | |
| 0° | | |
| 5° | | |
| 10° | | |
| 15° | | |
| 20° | | |
| 25° | | |
| 30° | | |
| 35° | | |
| 40° | | |
| 45° | | |

| Ángulo de ataque | Fuerza de elevación en N | Fuerza de arrastre en N |
|------------------|--------------------------|-------------------------|
| -25° | | |
| -20° | | |
| -15° | | |
| -10° | | |
| -5° | | |
| 0° | | |
| 5° | | |
| 10° | | |
| 15° | | |
| 20° | | |
| 25° | | |
| 30° | | |
| 35° | | |
| 40° | | |
| 45° | | |

| Ángulo de ataque | Fuerza de elevación en N | Fuerza de arrastre en N |
|------------------|--------------------------|-------------------------|
| -25° | | |
| -20° | | |
| -15° | | |
| -10° | | |
| -5° | | |
| 0° | | |
| 5° | | |
| 10° | | |
| 15° | | |
| 20° | | |
| 25° | | |
| 30° | | |
| 35° | | |
| 40° | | |
| 45° | | |

Velocidad del ventilador = 80%

Folleto para el alumno

Ficha 4 - Elevación y resistencia en una superficie aerodinámica

¿Qué deduces de los gráficos de sustentación y resistencia en función del ángulo de ataque a las distintas velocidades del aire?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

¿Cómo se comparan las distintas superficies aerodinámicas en cuanto a sustentación y resistencia a una velocidad del ventilador del 20%?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Folleto para el alumno

Ficha 5 - Coeficiente de arrastre

1. El cono

| Velocidad del ventilador % | Velocidad del aire en $m.s^{-1}$ | Fuerza de arrastre en N | Coeficiente de resistencia |
|----------------------------|----------------------------------|-------------------------|----------------------------|
| 10 | | | |
| 20 | | | |
| 30 | | | |
| 40 | | | |
| 50 | | | |
| 60 | | | |
| 70 | | | |
| 80 | | | |
| 90 | | | |
| 100 | | | |

2La esfera lisa

| Velocidad del ventilador % | Velocidad del aire en $m.s^{-1}$ | Fuerza de arrastre en N | Coeficiente de resistencia |
|----------------------------|----------------------------------|-------------------------|----------------------------|
| 10 | | | |
| 20 | | | |
| 30 | | | |
| 40 | | | |
| 50 | | | |
| 60 | | | |
| 70 | | | |
| 80 | | | |
| 90 | | | |
| 100 | | | |

Folleto para el alumno

Ficha 5 - Coeficiente de arrastre

3. La media esfera

| Velocidad del ventilador % | Velocidad del aire en $m.s^{-1}$ | Fuerza de arrastre en N | Coeficiente de resistencia |
|----------------------------|----------------------------------|-------------------------|----------------------------|
| 10 | | | |
| 20 | | | |
| 30 | | | |
| 40 | | | |
| 50 | | | |
| 60 | | | |
| 70 | | | |
| 80 | | | |
| 90 | | | |
| 100 | | | |

4La esfera rugosa

| Velocidad del ventilador % | Velocidad del aire en $m.s^{-1}$ | Fuerza de arrastre en N | Coeficiente de resistencia |
|----------------------------|----------------------------------|-------------------------|----------------------------|
| 10 | | | |
| 20 | | | |
| 30 | | | |
| 40 | | | |
| 50 | | | |
| 60 | | | |
| 70 | | | |
| 80 | | | |
| 90 | | | |
| 100 | | | |

Folleto para el alumno

Ficha 5 - Coeficiente de arrastre

5. La superficie plana

| Velocidad del ventilador % | Velocidad del aire en $m.s^{-1}$ | Fuerza de arrastre en N | Coeficiente de resistencia |
|----------------------------|----------------------------------|-------------------------|----------------------------|
| 10 | | | |
| 20 | | | |
| 30 | | | |
| 40 | | | |
| 50 | | | |
| 60 | | | |
| 70 | | | |
| 80 | | | |
| 90 | | | |
| 100 | | | |

6 La lágrima

| Velocidad del ventilador % | Velocidad del aire en $m.s^{-1}$ | Fuerza de arrastre en N | Coeficiente de resistencia |
|----------------------------|----------------------------------|-------------------------|----------------------------|
| 10 | | | |
| 20 | | | |
| 30 | | | |
| 40 | | | |
| 50 | | | |
| 60 | | | |
| 70 | | | |
| 80 | | | |
| 90 | | | |
| 100 | | | |

Folleto para el alumno

Ficha 5 - Coeficiente de arrastre

¿Qué deduce de estos resultados?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

¿Cuál de estas formas es la elegida por muchos diseñadores de automóviles para la forma general de un coche?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

¿Por qué tienen hoyuelos las pelotas de golf?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Notas para el Instructor

Sobre este curso

Objetivos e introducción

El módulo "Túnel de viento 125" tiene como objetivo introducir a los estudiantes en los conceptos relacionados con la aerodinámica y el flujo de fluidos.

Una serie de investigaciones prácticas ilustran una serie de temas relacionados con la dinámica de fluidos, utilizando equipos que pueden utilizarse con una supervisión mínima. Este equipo abre un amplio abanico de investigaciones diseñadas por los alumnos que exploran los factores que intervienen en el diseño de palas de aerogeneradores, alas de aviones o vehículos.

Conocimientos previos

Se espera que los estudiantes tengan una formación suficiente en ciencias e ingeniería que les permita diseñar investigaciones, realizar, registrar y analizar mediciones y gestionar los errores de observación. Es deseable cierta capacidad matemática, incluida la capacidad de utilizar hojas de cálculo para analizar observaciones.

Usando este curso:

Existe una Guía del equipo que describe las características de los equipos y cómo pueden utilizarse.

El kit Túnel de Viento 125 incluye un software de captura automática de datos. La ventaja para los estudiantes de utilizarlo es que acelerará el progreso a través del módulo. Sin embargo, el instructor puede tener la sensación de que pierden la conexión con los detalles de las investigaciones. Sin embargo, es una herramienta poderosa para que el instructor demuestre aspectos del trabajo en las sesiones plenarias.

Se espera que las hojas de trabajo y el Student Handout se impriman / fotocopien, preferiblemente en color, para uso de los alumnos.

Las hojas de trabajo tienen:

- una introducción al tema investigado;
- instrucciones paso a paso para la investigación que sigue
- guía para analizar los resultados.

Este formato fomenta el autoaprendizaje, y los estudiantes trabajan a un ritmo que se adapta a su capacidad. El Student Handout es un registro de las medidas tomadas en cada hoja de trabajo y de las preguntas relacionadas con ellas. Los alumnos no necesitan una copia permanente de las hojas de trabajo, pero pueden necesitar su propia copia del Student Handout.

Corresponde al profesor comprobar que el alumno va comprendiendo los ejercicios a medida que los va completando. Una forma de hacerlo es "firmar" cada hoja de trabajo, a medida que el alumno la completa, y en el proceso tener una breve charla para evaluar la comprensión del alumno de las ideas involucradas en los ejercicios que contiene.

| | Notas | | | | | | | | | |
|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------|----------------------------------------|-----------------------|-----------|---------------------|------------------|--------------------------|------------------|
| Introducción | <p>El túnel de viento está diseñado para facilitar una amplia gama de experimentos en torno a la aerodinámica y el flujo de fluidos. Las siguientes hojas de trabajo proporcionan una introducción a estos estudios e ilustran lo que es posible.</p> <p>Una visión general de la estructura y el funcionamiento del túnel de viento y sus componentes es un punto de partida necesario. Los alumnos necesitan una visita guiada del equipo, para apreciar sus capacidades. En particular, es necesario esbozar la configuración de los menús que ofrece la unidad de control.</p> | | | | | | | | | |
| Ficha 1 Tubo Pitot-estático | <p>Conceptos implicados:</p> <table border="0" data-bbox="448 768 1294 898"> <tr> <td>fluido incompresible</td> <td>flujo aerodinámico</td> <td>flujo turbulento</td> </tr> <tr> <td>teorema de Bernouilli</td> <td>manómetro</td> <td>tubo pitot-estático</td> </tr> <tr> <td>presión estática</td> <td>presión de estancamiento</td> <td>presión dinámica</td> </tr> </table> <p>Los alumnos deben apreciar la importancia de la alineación correcta del tubo estático de Pitot en la corriente de aire.</p> <p>El objetivo de la investigación es relacionar la velocidad del aire en el túnel de viento con la presión atmosférica resultante. En investigaciones posteriores, esto nos permite utilizar la presión atmosférica medida para deducir la velocidad del aire predominante.</p> <p>También compara el rendimiento del manómetro de tubo en U con el de un sensor de presión digital, validando el uso de este último en hojas de trabajo posteriores.</p> | fluido incompresible | flujo aerodinámico | flujo turbulento | teorema de Bernouilli | manómetro | tubo pitot-estático | presión estática | presión de estancamiento | presión dinámica |
| fluido incompresible | flujo aerodinámico | flujo turbulento | | | | | | | | |
| teorema de Bernouilli | manómetro | tubo pitot-estático | | | | | | | | |
| presión estática | presión de estancamiento | presión dinámica | | | | | | | | |
| Ficha 2 Patrones de flujo alrededor de un cilindro | <p>Conceptos implicados:</p> <table border="0" data-bbox="448 1352 1262 1420"> <tr> <td>Número de Reynolds</td> <td>coeficiente de presión</td> <td>diagrama de distribución de la presión</td> </tr> </table> <p>Esta investigación se centra en la distribución de presión alrededor de un objeto sumergido en un fluido, en este caso un cilindro colocado en una corriente de aire.</p> <p>Los alumnos utilizan sus mediciones para calcular el coeficiente de presión resultante y generan un diagrama de distribución de la presión a partir de sus resultados.</p> <p>En cada etapa de esta investigación se realizan mediciones en treinta y siete ángulos de ataque diferentes. Esto se repite para otras tres velocidades del aire. Puede ser conveniente repartir estas tareas entre varios grupos de estudiantes, con una sesión plenaria final para poner en común los resultados.</p> <p>Tenga en cuenta y avise a los alumnos que utilicen hojas de cálculo para obtener los gráficos, que muchos requieren ángulos medidos en radianes. Esta conversión podría formar parte de la hoja de cálculo.</p> | Número de Reynolds | coeficiente de presión | diagrama de distribución de la presión | | | | | | |
| Número de Reynolds | coeficiente de presión | diagrama de distribución de la presión | | | | | | | | |

| | Notas |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ficha 6 ¿Racionalizado? | <p>Se trata de una investigación abierta en la que los alumnos observan el flujo de aire alrededor de los objetos observando las estelas de humo que los rodean.</p> <p>Lo ideal es utilizar la cámara lenta, ahora disponible en la mayoría de los teléfonos móviles. Requiere un poco de práctica a la hora de colocar la boquilla del generador de humo, pero los resultados merecen la pena.</p> <p>Se pueden dar a los alumnos diferentes formas para que las investiguen, estudiando el efecto de cambiar la velocidad del aire o el ángulo de ataque. Los resultados pueden exponerse en una presentación en clase.</p> |
| Ficha 7 ¿Y ahora qué? | <p>Se trata de una investigación muy abierta. Anima a los estudiantes a centrarse en su campo de interés particular.</p> <p>Los alumnos pueden diseñar sus propias formas, siguiendo las pautas de tamaño que se dan en la hoja de trabajo, y planificar una serie de investigaciones con ellas.</p> <p>Se pueden utilizar diversos métodos de fabricación, pero es importante reconocer que la corriente de aire ejerce fuerzas considerables sobre el objeto, por lo que los materiales utilizados deben ser lo suficientemente resistentes para soportarlas.</p> |