

Título: Experimentación en un túnel de viento casero con el perfil alar Eppler E562 para la visualización de vórtices de estelas debido al ángulo de ataque.

Asesor: Dr. Diego Moises Almazo Perez

Estudiante: Luis Enrique Vizcarra Sanchez



Introducción

Cuando hablamos de la aerodinámica nos referimos a la herramienta que provee los conocimientos y el análisis para determinar las fuerzas y momentos que ejerce un flujo de un fluido. El objetivo principal de la aerodinámica es predecir, entender y conocer cómo se comporta un flujo interno y externo que suele ser generalmente el aire.

En el caso de las aeronaves estas aprovechan las fuerzas y momentos aerodinámicos para lograr su propósito que es poder viajar en el aire de una manera óptima y eficiente. Sin embargo, se necesitan conocer las propiedades del fluido, en el cual, está siendo sometido el cuerpo, como por ejemplo, su viscosidad, su densidad, temperatura, entre otros que son fundamentales para el análisis aerodinámico (Nelson, 1998).

Para aprovechar las fuerzas aerodinámicas las aeronaves utilizan los perfiles alares, que son cuerpos diseñados para que el flujo del viento favorezca el avión disminuyendo su resistencia y aumente la elevación de esta. Sin embargo hay algunas condiciones que tenemos que tomar en cuenta para que no exista pérdida al estar en pleno vuelo. Como por ejemplo la separación de flujo, aumento de arrastre, vibración, turbulencia, estelas, entre otros.

En lo que se enfoca este artículo, es como afecta de manera significativa la inclinación del perfil al estar interactuando con el viento relativo. Mediante la experimentación en base a un túnel de viento casero, se evaluarán cómo se comporta la estela de un perfil alar Eppler E562 con un ángulo de ataque de 0°, 30°, 45°, 60°, 90°.

Objetivo

Visualizar los vórtices de las estelas generadas por la inclinación del perfil Eppler E562 por medio de un túnel de viento.

Marco Teórico

1. Arrastre y Sustentación

El objetivo del perfil alar es generar sustentación y reducir la resistencia, sin embargo, necesita de un elemento esencial para que esto se lleve a cabo, un flujo externo que en el caso de las aeronaves es el flujo de aire.

Este flujo de aire tiene una fuerza resultante al ser impactado con el cuerpo geométrico que son un conjunto de efectos de presiones, fuerzas de corte y momentos que hacen que el perfil sienta resistencia al movimiento y tenga una elevación.

Para tener un mejor análisis en flujo bidimensional de esta fuerza resultante se optó por descomponerla en dos direcciones, usualmente una hacia la dirección del flujo y la otra hacia la dirección de la fuerza normal siendo perpendicular a la dirección del flujo.

Esto nos lleva a definir lo que es la sustentación y el arrastre; La sustentación es el conjunto de presiones, fuerzas cortantes que tienden a tener la dirección hacia la fuerza normal que están actuando en un área diferencial representada en la ecuación 1-2. Por otro lado el arrastre es de igual manera el conjunto de presiones, fuerzas cortantes que tienden a tener la dirección hacia al flujo que actúan en una área diferencial representada en la ecuación 1-1, en el caso de flujo bidimensional.

Estas dos fuerzas se expresan de la siguiente manera:

$$dF_D = -PdA \cos \theta + \tau_w dA \sin \theta \quad (1-1)$$

y

$$dF_L = -PdA \sin \theta - \tau_w dA \cos \theta \quad (1-2)$$

Donde θ se define como el ángulo que forma la normal exterior con el área diferencial con la dirección del flujo positivo. En el caso de querer determinar las fuerzas netas de sustentación y arrastre, pasamos a integrar las ecuaciones 1-1 y 1-2. El análisis se puede visualizar en la ilustración 1.

$$F_D = \int dF_D = \int (-P \cos \theta + \tau_w \sin \theta) dA \quad (1-3)$$

y

$$F_L = \int dF_L = - \int (PdA \sin \theta + \tau_w dA \cos \theta) dA \quad (1-4)$$

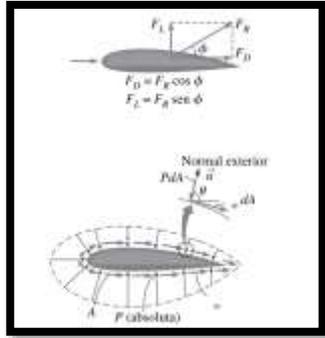


Ilustración 1" La presión y las fuerzas viscosas que actúan sobre un cuerpo bidimensional y las resultantes fuerzas de sustentación y arrastre"(Cimbala & Cengel, 2001).

Desafortunadamente el arrastre no es conveniente para la aeronave ya que produce una resistencia al movimiento, por consecuencia deberá de aumentar la tracción o la potencia del aeroplano para que pueda contrarrestar la fuerza en dirección al flujo, provocando así un mayor gasto de combustible, lo cual no es deseable cuando hablamos de cualquier transporte (Cimbala & Cengel, 2001).

1.3 Número de Reynolds y Número Match

Como anteriormente se expuso, la aeronave depende de la fuerzas aerodinámicas y momentos que actúan en el para lograr su propósito, a cambio, estas dependen de su forma, como también el tamaño de su cuerpo, su densidad, la viscosidad del aire, la velocidad del cuerpo, la velocidad del sonido y la altitud del cuerpo relativa.

Esto nos lleva a utilizar parámetros adimensionales que asocian todas estas variables, una de ellas sería el famoso número de Reynolds que se define como la relación de las fuerzas inerciales con las fuerzas viscosas y se expresa de la siguiente manera en la ecuación 2-1.

$$Re = \frac{\text{Fuerzas Inerciales}}{\text{Fuerzas viscosas}} = \frac{\rho V_{\infty} L}{\mu} \quad (2-1)$$

Donde V_{∞} representa la velocidad del cuerpo, μ la viscosidad, ρ la densidad del flujo del fluido, L la longitud del cuerpo y a la velocidad del sonido. Luego tenemos el número de Match que se establece como la relación de la velocidad del cuerpo con la velocidad del sonido. Se puede en la ecuación 3-1.(Pamadi, 1998)

$$M = \frac{V_{\infty}}{a} \quad (3-1)$$

1.4 Coeficientes

Los parámetros adimensionales se utilizan para la sustentación y el arrastre ya que dependen de múltiples variables para obtener su valor, realmente no se ha logrado obtener las fuerzas de arrastre y de sustentación sin lo que conocemos como los coeficientes de sustentación y arrastre que nos dan una aproximación sobre estas fuerzas y nos quitan cierto peso de búsqueda de múltiples variables que

existen para obtener estas fuerzas, como por ejemplo, es altamente difícil conocer todos los efectos de presión y de viscosidad que existen en ese instante interactuando con el cuerpo. Por lo tanto los coeficientes son vitales para el análisis del viento relativo (Srivastaba, 2020).

$$F_D = \frac{1}{2} \rho V^2 C_D A \quad (4-1)$$

Y

$$F_L = \frac{1}{2} \rho V^2 C_L A \quad (4-2)$$

Las ecuaciones 4-1 y 4-2 representan estos coeficientes. Donde $\frac{1}{2} \rho V^2$ representa la viscosidad dinámica y el área enfocándonos en los perfil alares es lo que llamamos el área de planta que consiste en la multiplicación de la envergadura por la cuerda del perfil (Cimbala & Cengel, 2001).

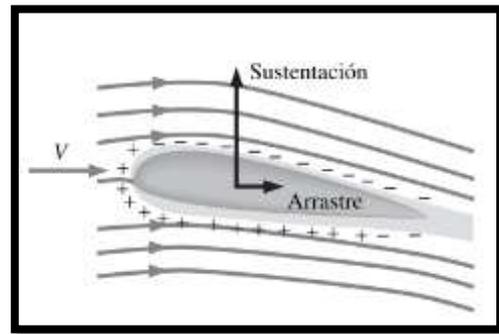


Ilustración 2 Flujo de aire interactuando con el perfil alar (Cimbala & Cengel, 2001)

En el plano del arrastre, se divide en dos componentes fundamentales, el cual es el arrastre debido a presión y el arrastre debido a fricción. El arrastre debido a fricción se debe directamente al esfuerzo de corte de pared τ_w a diferencia del arrastre debido a presión que se debe directamente a la presión P también llamada arrastre de forma porque tiene una enorme dependencia de la forma del cuerpo.

Se expresan de la siguiente forma, la ecuación 5-1 es el arrastre debido a presión y la ecuación 5-2 es el arrastre debido a fricción, siendo la suma de estos dos elementos el arrastre total (Cimbala & Cengel, 2001).

$$F_{D \text{ presión}} = \frac{1}{2} \rho V^2 C_{D \text{ presión}} A \quad (5-1)$$

$$F_{D \text{ fricción}} = \frac{1}{2} \rho V^2 C_{D \text{ fricción}} A \quad (5-2)$$

Como anteriormente se comentó el arrastre no es favorable y debemos buscar la manera de disminuirlo, haciendo que el cuerpo se adapte mejor las corrientes del flujo, que la separación de flujo sea disminuida lo mejor posible, la inclinación del perfil, entre otros factores (Srivastaba, 2020).

2. Separación de flujo

Cuando el flujo de un fluido con una velocidad suficientemente alta interactúa con un cuerpo geométrico con superficies curvas o con un cuerpo romo, estas tienden a generar en algún punto del área del cuerpo, lo que definimos como separación de flujo. Al momento de que el flujo es separado esta puede ocasionar vórtices que aumentan el arrastre, vibración, turbulencia, entre otros (Cimbala & Cengel, 2001).

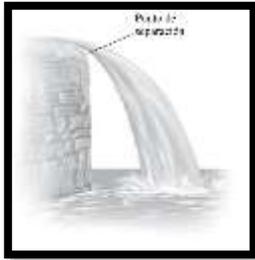


Ilustración 3 Separación de flujo (Cimbala & Cengel, 2001).

2.1 Punto de separación

El punto de separación se origina cuando el flujo del fluido logra separarse en dos flujos totalmente independientes. El fluido que se separa del cuerpo, genera una región en la parte de atrás del cuerpo, llamada región separada, donde se suele tener un área de baja presión. En esta región se pueden encontrar vórtices, recirculaciones y el punto final de la región es cuando el flujo vuelve a incorporarse con el otro flujo independiente y lo definimos como el punto de rectificación que se puede observar en la ilustración 3. Para localizar el punto de separación dependemos de varios parámetros como el número de Reynolds, el nivel de fluctuación del flujo del fluido, entre otros. Pero es complicado encontrarlo al menos que el cuerpo geométrico contenga esquinas agudas o cambios radicales en su superficie sólida (Cimbala & Cengel, 2001).

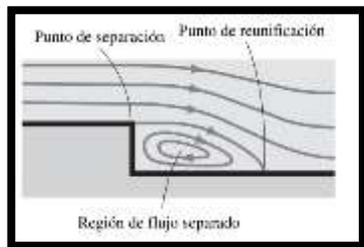


Ilustración 4 Punto de separación, región de flujo separado, punto de reunificación (Cimbala & Cengel, 2001).

2.2 Capa límite

Ludwig Prandtl (1875-1953) probo que el viento relativo al estar en contacto con un cuerpo, se puede dividir creando una capa, entre la pared y el flujo, la cual llamamos capa límite. Esta capa se divide en dos partes, una donde los efectos viscosos son despreciables, el flujo es irrotacional, y la otra en donde los efectos viscosos se toman en cuenta estableciendo la frontera de no-deslizamiento que consiste en que el vector de velocidad del flujo es igual al vector velocidad de la pared y su grosor es dependiente del vector velocidad con respecto a la longitud del cuerpo hacia la dirección del flujo, y esta incrementa en dirección a la fuerza normal (Cimbala & Cengel, 2001).

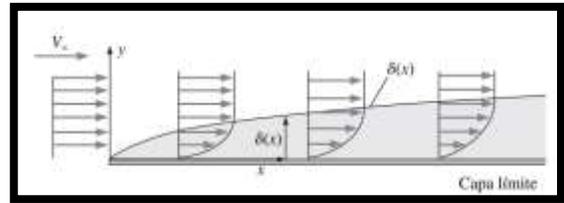


Ilustración 5 Capa límite (Cimbala & Cengel, 2001)

2.3 Estela

Por otro lado la estela se ubica atrás del cuerpo y se define como la región en donde se logran sentir las perturbaciones del cuerpo con respecto a la velocidad, además son apreciables los efectos viscosos y rotacionales en ella.

Esta se caracteriza por componerse de vórtices y tener presiones bajas. Los vórtices forman parte de la separación de flujo. Al ser generados por un tiempo determinado puede ocurrir lo que se conoce como desprendimiento de vórtice (Cimbala & Cengel, 2001).



Ilustración 6 Región Estela (Cimbala & Cengel, 2001)

Cuando la frecuencia de los vórtices es constante, es decir, cuando se desprende un vórtice de la estela pero se crea uno nuevo y toma su lugar en un tiempo determinado. Este patrón se le llama calle de vórtices de Von Karmán (Oyarsún S. Cristian Alfredo, 2005).



Ilustración 7 "Calle de vórtices de Von Kármán en un cilindro" (Oyarsún S. Cristian Alfredo, 2005)

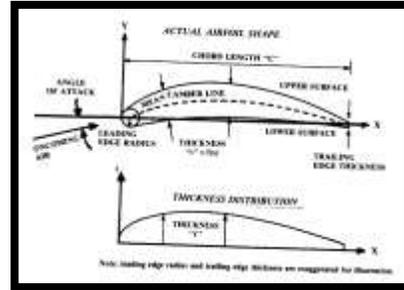


Ilustración 8 Geometría del perfil alar (Raymer, 2019).

3. Perfil alar

El perfil alar es un cuerpo geométrico currentilíneo o cuerpo aerodinámico con el propósito de generar sustentación mediante el cambio de velocidad del flujo del aire que pasa por la parte superior e inferior de la superficie del cuerpo. Es por eso que la selección del perfil alar es fundamental debido a que afecta directamente a la aeronave por diversos factores como el aterrizaje, el despegue, el vuelo en crucero, el ahorro de combustible, la eficiencia aerodinámica, entre otros factores. (Raymer, 2019).

3.1 Parámetros geométricos del perfil alar

Los parámetros geométricos más importantes que tiene un perfil alar son:

- **Borde de ataque** (*leading Edge radius*): Consiste como la parte frontal del perfil alar, además de ser tangente a la parte superior e inferior de las superficies del cuerpo.
- **Borde de salida** (*trailing edge*): Parte de atrás del perfil, siendo la unión de las dos superficies del cuerpo.
- **Cuerda** (*chord*): Es la conexión del (*leading Edge*) al (*trailing Edge*).
- **Curvatura** (*camber*): Suele ser la curvatura del perfil.
- **Línea media** (*the mean camber line*): como dice su nombre es la línea paralela de las superficies inferior y superior.
- **Distribución del espesor** (*thickness distribution*) se define como la distancia desde la superficie superior hacia la inferior.

Se puede observar la geometría del perfil alar en la ilustración 3 (Raymer, 2019).

3.2 Ángulo de ataque

El ángulo de ataque se define como el ángulo entre el viento relativo y la cuerda del perfil alar. Y se puede observar en la ilustración 4 y 5 (Pamadi, 1998). Es un parámetro adimensional que se puede medir en relación con la dirección del flujo del aire o viento relativo y es de suma importancia en la aviación debido al aumento de sustentación por causa de la inclinación del perfil (Cimbala & Cengel, 2001).

Al tener cierto grados positivos de inclinación el perfil provoca una mayor presión en la superficie inferior del perfil y menor presión en la superficie superior aumentando la velocidad del flujo en el extradós (superficie superior), generando así mayor sustentación; También podemos utilizar ángulos negativos para una diferencia de presiones con un incremento de presión en la superficie superior que usualmente utilizan este tipo de sistema en los automóviles de carreras (Pamadi, 1998).

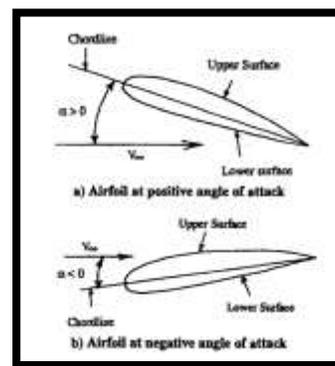


Ilustración 9 Ángulo de ataque (Pamadi, 1998).

El ángulo de ataque normalmente no debe exceder más de 15° grados, debido a la disminución radical de la fuerza sustentación, a causa de un dominio de presión hacia la superficie inferior tendiendo hacia la dirección del flujo, provocando que aumente el arrastre, también que exista un punto de separación que genere vórtices y aumente de igual manera el arrastre del cuerpo.

En la ilustración 6 se puede visualizar este efecto (Cimbala & Cengel, 2001).



Ilustración 10 Demostración del efecto del ángulo de ataque en un perfil alar (Cimbala & Cengel, 2001).

3.4 Perfil alar Eppler E562

El modelo a estudiar es el perfil alar Eppler E562, este perfil se utiliza en las alas de UAV, estos son modelos de alcance medio tácticos los cuales son drones manejados en tierra mediante un control remoto o automáticamente pueden volar, suelen ser muy livianos. (Turanoguz & Alemdaroglu, 2015).



Ilustración 11 Ejemplo de un UAV (Los Mejores Adhesivos Para Drones, UAVs y Robots - Antala Industria, n.d.)

Este tipo de perfil se caracteriza por ser de bajo número de Reynolds, un fino borde de salida, una alta sustentación y un alta distribución de espesor. En la ilustración 11 se puede observar cómo se grafica este perfil, en la ilustración 12 se puede visualizar sus propiedades geométricas, como el máximo espesor, como también su cuerda, entre otros y en la ilustración 13 se puede observar en la gráfica el crecimiento del espesor, la curvatura y el cuerpo del perfil con respecto a la cuerda. (Hariyadi et al., 2019).

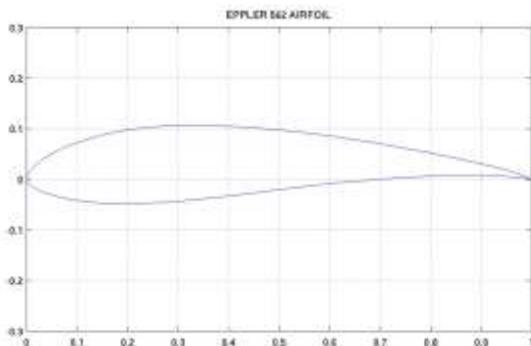


Ilustración 12 Eppler E562 (UIUC Airfoil Data Site, n.d.).

Maximum Thickness:	15.0684	% @0.27C
Maximum Camber:	3.9515	% @0.54C
Trailing Edge Gap:	0	%C
Upper nose radius:	2.128	%C
Lower nose radius:	0.27367	%C
Boat-Tail Angle:	19.7247	deg
Release Angle:	18.8722	deg
Nose Incidence:	14.7028	deg
Camber deflection:	33.5751	deg

Ilustración 13 Tabla de las Propiedades Geométricas (Melon, 2013).

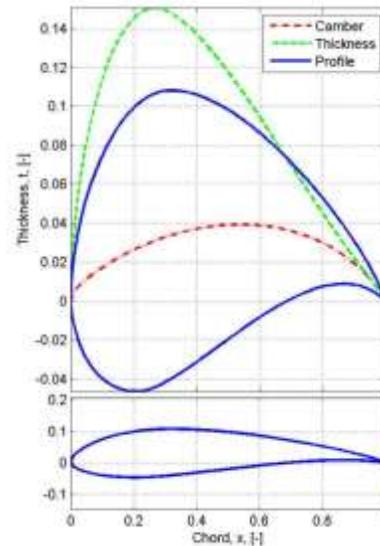


Ilustración 14 Gráfica del perfil de ala con camber y distribución de espesores (Melon, 2013).

4. Túnel de viento.

Un túnel de viento se define como un instrumento diseñado para estudiar las alteraciones del flujo de aire al interactuar sobre un cuerpo geométrico. Esta consiste en impulsar o succionar el flujo de aire a través de un volumen de control con una sección de ensayos, en el cual, se puede poner el modelo que se desea analizar.

Estos trabajan de dos maneras; La primera es circuito abierto, es decir, que nuestro túnel tendrá una entrada y una salida, por la cual el aire saldrá a la atmosfera libremente. Y la segunda es circuito cerrado, donde el aire se mantendrá en túnel de viento por un tiempo determinado sin tener alguna salida (Arroyo et al., n.d.).



Ilustración 15 Ejemplo de un túnel de viento (Arroyo et al., n.d.)

4.1 Componentes principales

Los túneles de viento están formados por cinco componentes principales (Arroyo et al., n.d.):

1. **Motor:** Se encarga de transformar la energía eléctrica a energía mecánica útil.
2. **Ventilador:** Suministra energía al flujo de viento, por consecuencia hay un aumento de presión y en la razón del viento relativo.
3. **Cuerpo:** Es el medio donde se encuentra la zona de pruebas, el difusor, tobera, la rectificación de flujo.
4. **Instrumentación:** Se encarga de ejecutar las mediciones de las variables necesarias y existentes para el análisis aerodinámico.
5. **Variador de frecuencia:** Consiste en cambiar la frecuencia la entrada del dispositivo electromagnético (motor).

Metodología

Elaboración del perfil

Como primer paso se obtuvieron las coordenadas del perfil alar que nos proporcionó de manera gratuita la base de datos de *UIUC*, por lo tanto se utilizaron estos valores en el programa Excel con el submódulo de programación llamada macros que tiene como función transformar los datos a la plataforma de dibujo que el usuario utilice, en este caso fue el Catia V5 el que se usó para dibujar el cuerpo geométrico en base a las coordenadas.

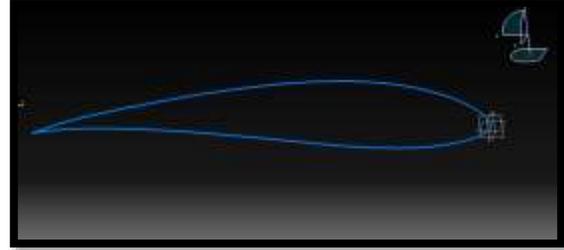


Ilustración 16 Perfil dibujado en Catia V5

Para la realización del perfil alar Eppler E562, se optó por utilizar como material madera (pino), se definieron sus dimensiones dándole el valor de cuerda de 15cm, una envergadura de 30cm y un espesor-----. se pintó de color negro para que se pudiera visualizar el rayo de luz verde que tiene como propósito ayudar a la observación del flujo de aire.



Ilustración 17 Perfil alar E562 elaborado en madera.

Construcción del túnel de viento

Para la elaboración del túnel de viento casero, se eligió utilizar una caja de madera de 16plg de ancho, 12plg de alto y con un grosor de 16.5plg, en el cual se le realizaron dos orificios, tienen como función ser la entrada y salida del flujo del fluido. Además de agregarle una ventana en uno de los lados de la caja para tener visualización del experimento. Para lograr que el perfil alar se quedara estable para la experimentación, se prefirió utilizar tornillos de alto grosor, que fueran colocados en los dos lados de la caja siendo paralelas a la envergadura.

Dando presión a la cuerda del perfil de cada lado, así evitando que haya una inclinación no determinada.



Ilustración 18 Túnel de viento casero elaborado de madera.

Posteriormente fue pintada con color negro de igual manera como el perfil alar, puesto que se utilizará un láser de color verde que tiene como intención iluminar el humo del incienso que le dará textura al viento relativo que interactúa con el perfil.



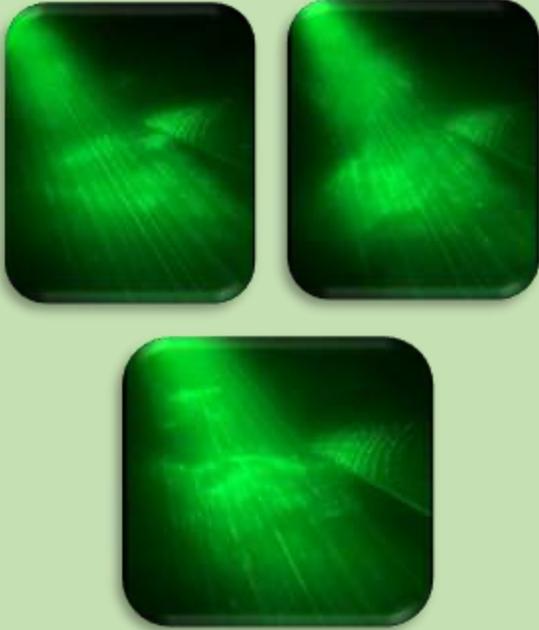
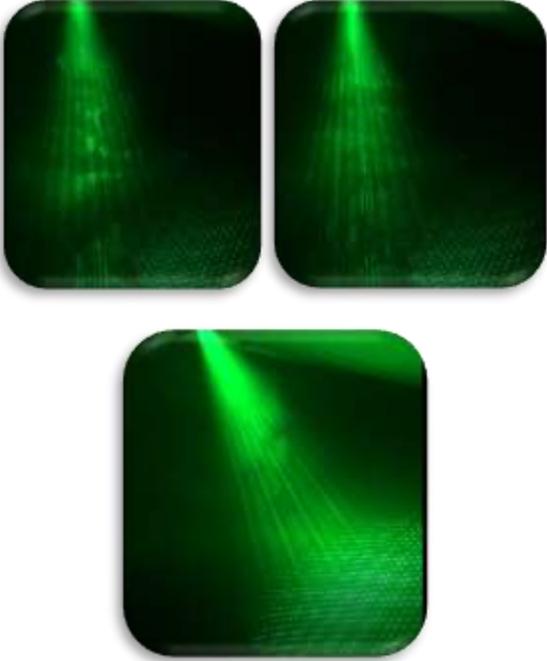
Ilustración 19 Túnel de viento terminado.

Por último se incorporó el transportador para poder medir el ángulo de ataque del perfil, en la ilustración 14 se puede observar cómo fue colocado. También se aprovechó una tapa de plástico reciclada para obstruir el escape del humo y se perforó para colocar el láser verde.

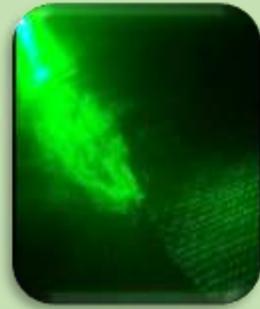


Ilustración 20 Colocación del transportado

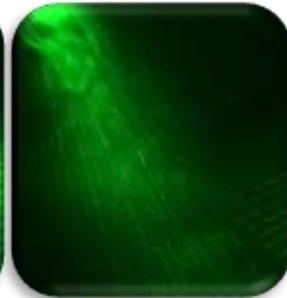
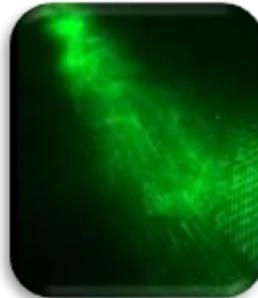
Desarrollo Experimental

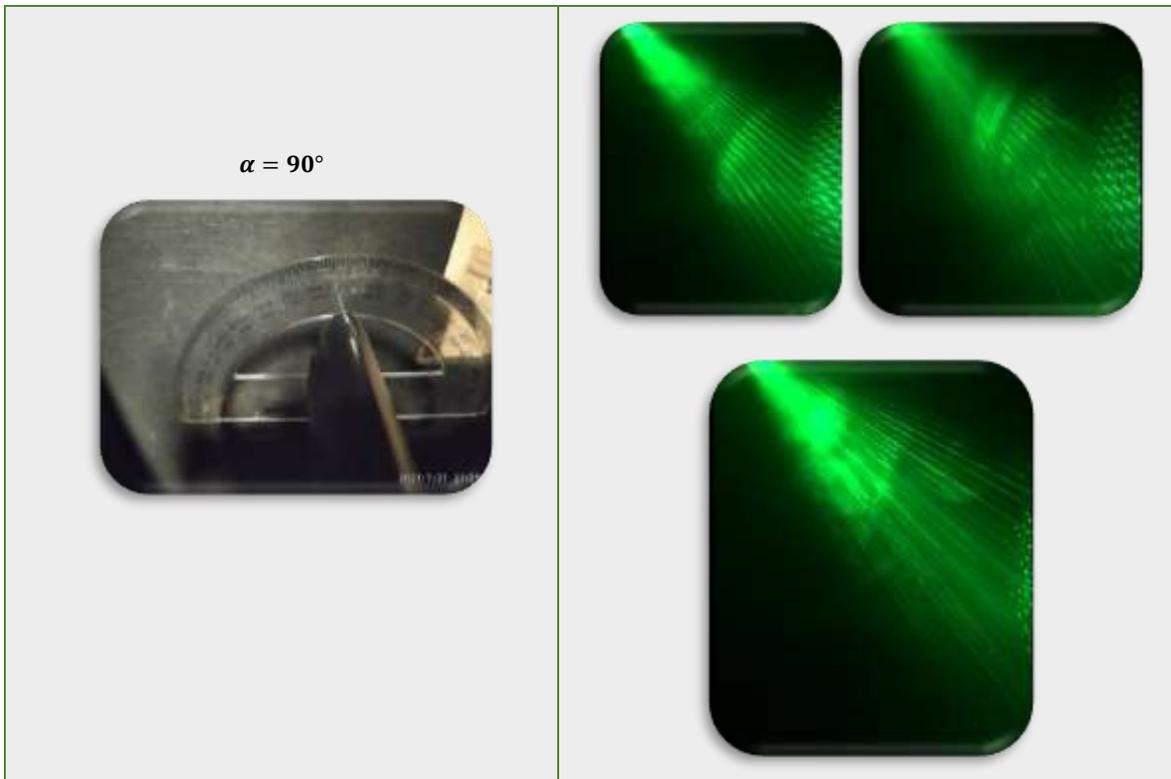
Ángulo de ataque	Experimentación
<p data-bbox="462 451 544 483">$\alpha = 0^\circ$</p> 	
<p data-bbox="462 1102 544 1134">$\alpha = 30^\circ$</p> 	

$\alpha = 45^\circ$



$\alpha = 60^\circ$





Resultados

Los resultados fueron los siguientes:

- Con un ángulo de ataque de 0° no se logra percibir una separación de flujo apresurada, y abarca un pequeño porcentaje del borde de salida, la estela se logra observar uniforme sin tener perturbaciones llamativas.
- Por otro lado al ya tener un ángulo de ataque de más de 15° que serían en este caso, ya hablando de 30° . Aquí ya se pueden ver la frecuencia de los vórtices en formación con la estela, una separación de flujo en una tercera parte de la superficie superior, lo cual nos lleva a estar en pérdida y provoca un aumento de arrastre.
- Con un ángulo de ataque de 45° se puede observar el desprendimiento de los vórtices de la estela generando turbulencia, una separación de flujo prematura, siendo dominio de casi la mitad de la superficie superior, el arrastre debido a presión aumenta, disminuyendo el arrastre debido a fricción debido a la inclinación del perfil.
- Con un ángulo de ataque de 60° , la estela incrementa al doble de tamaño en comparación con 30° de ángulo de ataque, las áreas de los vórtices incrementaron, el arrastre debido a presión incrementa de igual manera dominando al arrastre debido a fricción. Y la separación de flujo está en casi toda la superficie superior del perfil.
- Con un ángulo de ataque de 90° el arrastre debido a fricción es despreciable, dominando el arrastre debido a presión, la estela incrementa casi abarcando la longitud de la cuerda del perfil, los vórtices tienen el doble de tamaño, se dependen de la estela generando turbulencia mayor e incrementando el arrastre por la bajas presiones del parte de atrás del perfil.

Conclusión

Con respecto a la experimentación del perfil alar Eppler E562 con distintos ángulos de inclinación para la visualización de estelas conformadas por vórtices, se puede concluir que no es favorable en este perfil alar tener un ángulo de ataque superior a 15 grados, debido a que se genera una separación de flujo prematura, es decir, una separación de flujo en el borde de ataque que por consecuencia aumenta el arrastre, crea turbulencia, y vibración. Además que los vórtices aumentan radicalmente al aumentar la inclinación del perfil generando presión en la parte de tras del cuerpo geométrico.

Gracias a estancia del programa delfín, se obtuvieron bastos conocimientos teóricos sobre las fuerzas aerodinámicas, capa límite, separación de flujo, estela, túnel de viento, arrastre y sustentación. Fue grata la experiencia de hacer un túnel de viento casero, elaborar en base madera el perfil alar E562 y poder visualizar los efectos que tiene un flujo de aire al actuar con el cuerpo y dar una análisis en base a los conocimientos previos y nuevos.

Bibliografías

- Arroyo, A., Chaves, E., & Hernández, E. (n.d.). Informe de Túneles de Viento en el Mundo. In *Instituto Tecnológico de Costa Rica Escuela de Ingeniería Electromecánica Laboratorio de Investigación en Energía Eólica (LIENE)*. <https://doi.org/10.1088/1751-8113/44/8/085201>
- Cimbala, J. M., & Cengel, Y. a. (2001). Mecánica de Fluidos: Fundamentos y Aplicaciones. In *McGrawHill: Vol. Primera Ed.*
- Hariyadi, S., Sutardi, S., Widodo, W. A., Pitoyo, B. J., Pambudiyatno, N., & Sonhaji, I. (2019). Numerical Analysis of the Reynolds Number Effect on the Aerodynamic Performance Wing Airfoil Eppler 562 with Wingtip Fence. *Journal of Physics: Conference Series*, 1381(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1381/1/012055>
- Los mejores adhesivos para drones, UAVs y robots - Antala Industria.* (n.d.). Retrieved July 22, 2021, from <https://www.antala.es/adhesivos-para-pegar-drones-uavs-robots/>
- Melon, T. (2013). *Parametric Airfoil Catalog* (First Edit). Fluid and Mechatronic Systems, Department of Management and Engineering, The Institute of Technology, Linköping University, Linköping, Sweden. www.iei.liu.se
- Nelson, R. (1998). Flight Stability and Automatic Control. In *McGrawHill*. <https://doi.org/10.1201/9781420051018-9>
- Oyarsún S. Cristian Alfredo. (2005). *Análisis de dinámica de fluidos en un perfil aerodinámico*. Universidad del Bío-Bío, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Mecánica.
- Pamadi, B. N. (1998). *Performance, Stability, Dynamics, and Control of Airplanes* (A. F. I. of Technology (Ed.)). American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc.
- Raymer, D. (2019). Aircraft Design: A Conceptual Approach, Sixth Edition and RDSwin Student SET. In *Aircraft Design: A Conceptual Approach, Sixth Edition and RDSwin Student SET*. <https://doi.org/10.2514/4.105746>
- Srivastaba, T. P. (2020). Private Pilot Ground School. 16.687. <https://www.youtube.com/watch?v=edLnZgF9mUg&t=2638s>
- Turanoguz, E., & Alemdaroglu, N. (2015). Design of a medium range tactical UAV and improvement of its performance by using winglets. *2015 International Conference on Unmanned Aircraft Systems, ICUAS 2015, July 2018*, 1074–1083. <https://doi.org/10.1109/ICUAS.2015.7152399>
- UIUC Airfoil Data Site.* (n.d.). Retrieved July 7, 2021, from https://m-selig.ae.illinois.edu/ads/coord_database.html