



UNIVERSIDAD REY JUAN CARLOS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE
TELECOMUNICACIONES

Flujo alrededor de la semilla del arce

Mecánica de fluidos computacional

Diego Olías Rincón y Sara Díaz Serrano

June 5, 2023

Contents

1	Introducción	1
1.1	Toma de datos	2
1.2	Hipótesis y simplificaciones	2
2	Modelo estacionario	3
2.1	Geometría	3
2.2	Mallado	3
2.3	Solver	4
3	Transitorio	6
3.1	Geometría modelo rotativo transitorio	6
3.2	Mallado modelo rotativo transitorio	6
3.3	Solver modelo rotativo transitorio	7
4	Cambios posibles	10

1 Introducción

La semilla del arce es conocida por su curiosa forma. Consta de un ala de un material similar a la corteza de madera que se llama sámarra, unida a la semilla per se mediante un tallo en la parte frontal del conjunto. Esta estructura tan característica le permite realizar un movimiento de rotación durante su caída, aumentando su tiempo en el aire y permitiendo que las corrientes de viento la desplacen una distancia mayor. Este mecanismo evolutivo tiene como objetivo la reproducibilidad de la especie, ya que con una mayor dispersión de las semillas, las probabilidades de extinción debido a factores ambientales regionales se minimizan.

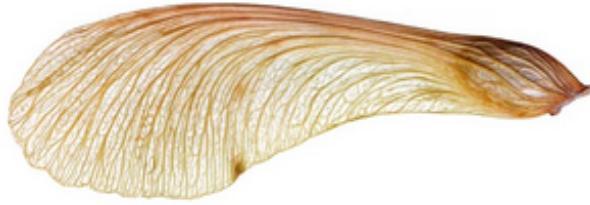


Figure 1: Semilla de arce

El funcionamiento de su mecanismo de vuelo es relativamente sencillo de entender. El tallo adelanta el centro de gravedad en el eje vertical, y la semilla lo adelanta y desplaza hacia el extremo, generando un momento sobre el CG, y posicionando nuestro ala con un cierto ángulo. Además, el viento incidente sobre el ala genera sustentación, perpendicular al viento incidente y a la superficie que la genera. Debido al ángulo provocado por el peso de la semilla, nuestra sustentación tendrá una componente en los tres ejes (aún que mayoritariamente vertical), lo cual provocará un giro con centro cercano al CG de la semilla.

La sustentación no es el único elemento de este problema. La fuerza aerodinámica que evita que nuestra semilla impacte el suelo es la resistencia o drag. Podemos aproximar nuestra semilla vista desde el frontal como una placa plana de dimensiones determinadas, por lo que sabemos que la mayoría de la resistencia que opone será debida a recirculación del flujo en la parte trasera. La rotación de nuestra semilla entorpecerá aún mas el flujo de aire, aumentando dicha resistencia ya que la misma viene condicionada por la estela.

Para analizar este problema podemos descomponer el flujo incidente en la semilla en dos partes. La primera la podremos considerar como incidente a través del borde de ataque, la cual será responsable de la sustentación y del consecuente giro. El resto de nuestro flujo, perpendicular a la semilla, será el responsable de la resistencia de placa plana. A la hora de descomponer este flujo incidente, hemos de tener en consideración que la velocidad respecto a ejes tierra de nuestra semilla solo tiene componente en el eje Z, por lo que nuestro viento relativo provendrá de ahí.

1.1 Toma de datos

El cálculo de esta descomposición se ha llevado a cabo mediante técnicas de observación experimental, debido a la dificultad del cálculo de los coeficientes analíticos del ala. Si grabamos nuestra semilla en vídeo delante de un metro colgado de una superficie vertical, podemos observar dos datos clave del problema: el ángulo de ataque de nuestro ala y su velocidad ascensional.

Para calcular el primer valor, podemos recurrir a cualquier fotograma de nuestro vídeo, siempre y cuando la semilla se encuentre en vuelo estacionario. Mediante varias mediciones, podemos observar que nuestra semilla tiene una inclinación de 30° alrededor de la semilla, y unos 20° respecto al tallo.

La velocidad ascensional la calcularemos mediante el uso de un reproductor de vídeo que nos permita ver el tiempo asociado a cada frame, en este caso *Avidemux*. Si observamos a que altura del metro está nuestra semilla para el primer frame donde es visible en cámara, y a que altura abandona el plano, podemos calcular la distancia vertical recorrida. Además, si analizamos los segundos que pasan entre el primer y el segundo instante, podemos calcular nuestra velocidad ascensional media, que en este caso será de:

$$V_a = 1.075 \text{ m/s} \quad (1)$$

Este dato es ligeramente inferior que el que podemos encontrar en la bibliografía ([1]). Esto se puede deber a una diferencia en la calidad del equipo de medición, o en el tamaño de la semilla.

Otra componente del viento relativo será el asociado a la rotación de nuestro ala. Recurriendo a la bibliografía existente sobre el tema¹ [2] [1], la velocidad rotacional de nuestra semilla será de:

$$\omega \approx 86 \text{ rad/s} \quad (2)$$

Si tomamos una sección media de la semilla, a 2.5cm del centro de rotación, nuestra velocidad en esta sección será de:

$$V_r = \omega * R = 1.6125 \text{ m/s} \quad (3)$$

A partir de estos datos, podemos calcular que nuestra velocidad incidente sobre el ala será de:

$$V = (V_r + V_a \cos(70))\vec{u}_x + V_a \sin(90)\vec{u}_y = \begin{pmatrix} 1.98017 \\ 1.01017 \end{pmatrix} \text{ m/s} \quad (4)$$

1.2 Hipótesis y simplificaciones

Debido al uso de una cámara "barata" inducimos dos errores en el cálculo de nuestra velocidad ascensional y ángulo de ataque. El primero de ellos será el paralaje, que provoca una distorsión de la medida proporcional al ángulo que forma dicha medida con la horizontal. El segundo viene de la mano con la tasa de refresco de nuestra cámara. Al

¹Tomamos como válido el dato calculado por Holden 2015 debido a que es coherente con el bracket establecido por Sohn

únicamente grabar a 30 frames por segundo, el tiempo medido tiene un error de $\pm 1/30s$. Además, la calidad de vídeo no ayuda especialmente a visualizar correctamente los ángulos.

Durante la práctica vamos a realizar 2 modelos de nuestra semilla, uno estacionario y otro turbulento y compararemos ambos resultados.

2 Modelo estacionario

Consideraremos que nuestra semilla se encuentra en estado estacionario cuando está girando y bajando a la velocidad considerada en el apartado anterior. Para este caso, tendremos el flujo incidente descrito en el apartado *Toma de datos* (1.1).

2.1 Geometría

Las dimensiones promedio de las semillas utilizadas para este estudio son de 5cm de largo y 2.5 de ancho en su punto medio. En este proyecto haremos un estudio de la sección media de nuestra semilla, por lo que nuestra geometría consistirá del tallo y del propio ala. El grosor del tallo es de 1mm y el de la hoja de 0.5mm. Para facilitar el modelado de la misma, utilizaremos metros dentro del programa y escalaremos las fuerzas de ser necesario.



Figure 2: Zona cercana a la hoja

El volumen de control será similar al de un perfil alar, con un inlet semicircular y un outlet plano, a suficiente distancia como para poder observar y analizar de manera correcta la estela. Los cortes en la zona cercana al inicio y final de la hoja nos ayudan a adecuar el mallado correctamente a la capa límite.

2.2 Mallado

Debido a que tenemos una gran componente vertical del flujo sabemos que es altamente probable que la capa límite se desprenda, por lo que debemos añadir un refinamiento en la zona trasera del perfil, que aumente su grosor a medida que nos alejamos del mismo para acomodar todas las variaciones de dirección del flujo de la estela.

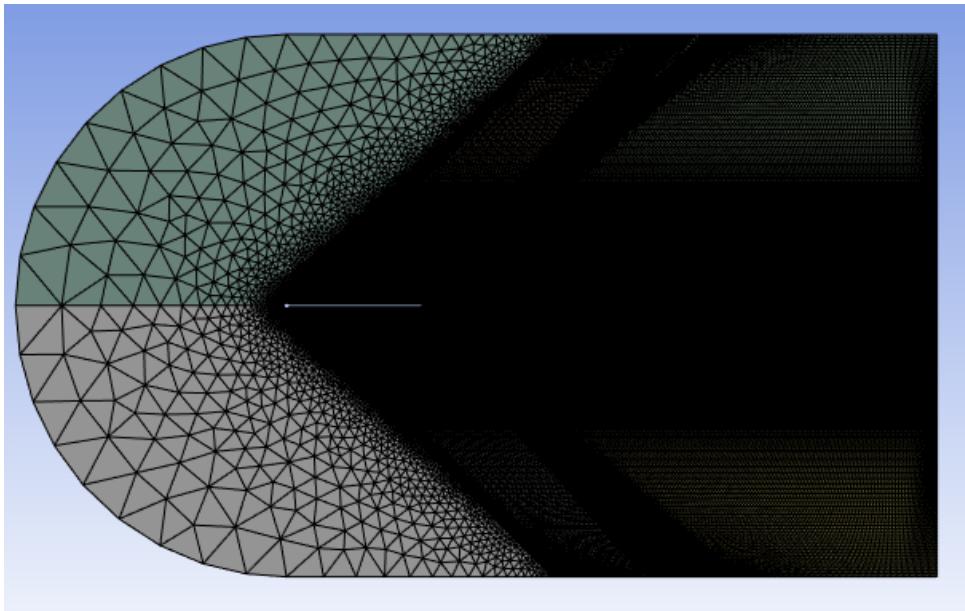


Figure 3: Mallado final del volumen de control

Además, debido a la complejidad geométrica de la circunferencia frontal, y a que no tenemos una dirección preferente de flujo, se ha apostado por mallar la misma mediante elementos triangulares. La zona trasera correspondiente a la estela está mallada con una malla conforme y de elementos cuadrangulares. Esta malla cumple todos los criterios de calidad establecidos (Skewness, Calidad orthogonal y Aspect Ratio).

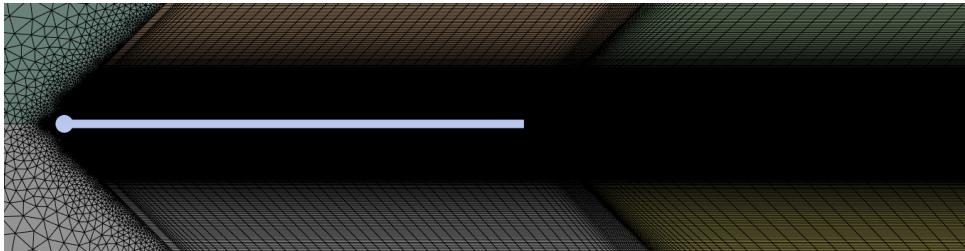


Figure 4: Refinamiento en la pared de la hoja

2.3 Solver

En las primeras iteraciones del solver, hicimos uso de un modelo k-omega SST, debido a que es capaz de analizar de manera correcta el flujo en las zonas cercanas y lejanas a la capa límite. Los resultados fueron lo esperado, un desprendimiento total de la capa límite:

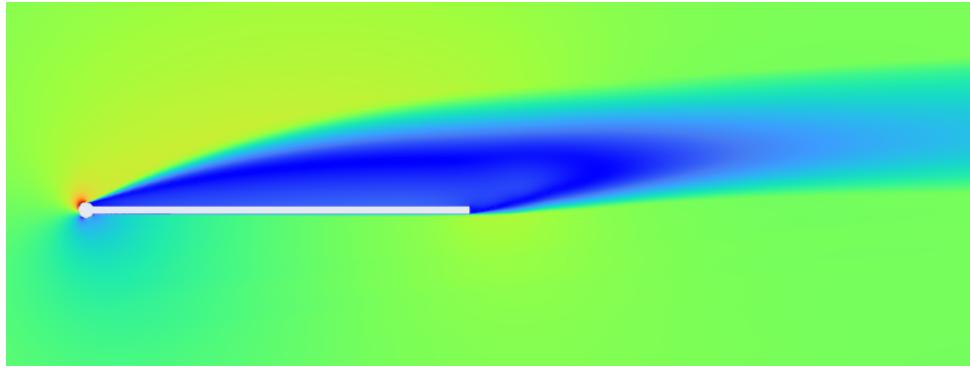


Figure 5: Contorno de velocidades del caso estacionario con solver k-omega

A la hora de comprobar los criterios de convergencia del caso, a pesar de tener una diferencia de gasto másico del orden de 10^{-5} , los residuos oscilaban alrededor de dos valores en vez de formar una horizontal, indicando que existía una posible solución transitoria para el caso estacionario.

Cambiando el solver a uno laminar, discretizando el tiempo y, mediante el número de Courant, ajustando el timestep a 0.1, podemos visualizar claramente la formación de torbellinos provenientes de zonas cercanas al borde de ataque. Esto aumenta la resistencia inducida del conjunto, disminuyendo la velocidad de descenso.

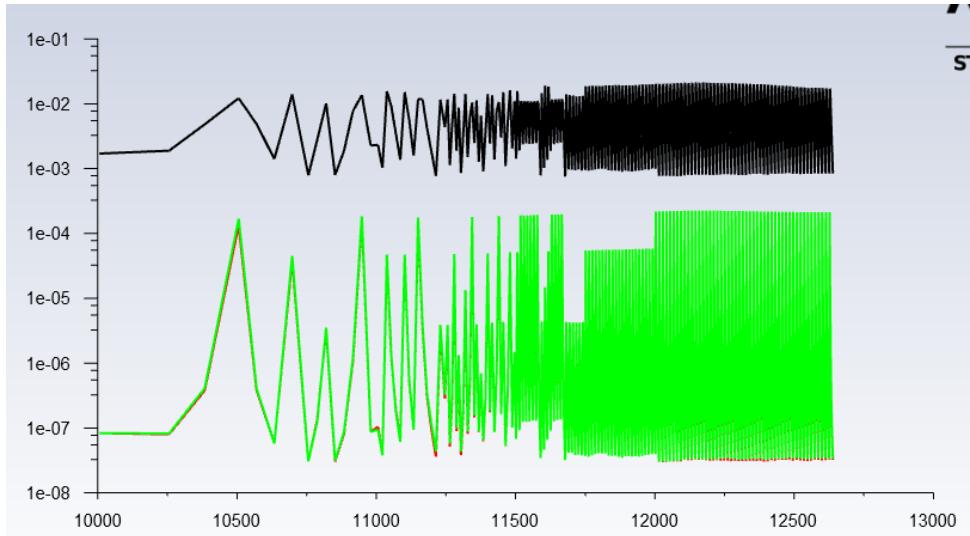


Figure 6: Residuos del caso transitorio

Podemos observar que la distancia de oscilación de nuestros residuos no se mantiene estática con el tiempo. Esto puede indicar una mayor evolución del caso estacionario a un número de iteraciones mas alto, pero debido a limitaciones temporales y de potencia computacional no hemos podido seguir iterando.

3 Transitorio

3.1 Geometría modelo rotativo transitorio

En cuanto a la geometría de este nuevo modelo diseñaremos la semilla de arce igual que en el modelo estacionario pero cambiaremos el volumen de control de estudio. Primero desarrollaremos una superficie circular que englobará a nuestra semilla definiéndolo como la superficie rotatoria que girará durante nuestro estudio. A continuación, desarrollamos otra superficie igual al volumen de control de nuestro modelo estacionario que englobe tanto a nuestra superficie rotatoria como a nuestra semilla. Esta superficie se definirá como el fluido que vamos a tener durante nuestro estudio.

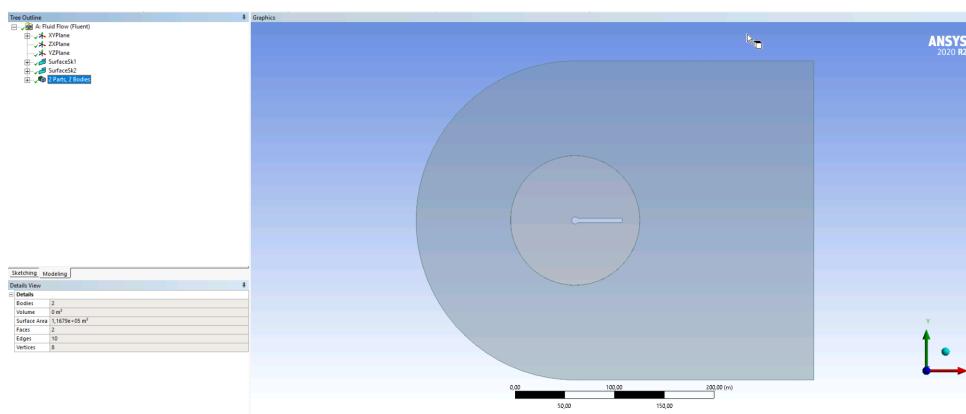


Figure 7: Geometría modelo transitorio

3.2 Mallado modelo rotativo transitorio

Una vez tenemos definidas las superficies que vamos a rotar y estudiar como volumen de fluido comenzamos con el mallado. Dentro del mallado definiremos 3 sizing, uno para la superficie que vamos a rotar, otro para la separación entre la superficie a rotar y nuestro fluido y otro para nuestra semilla. Además, añadiremos un refinamiento en las 2 superficies para conseguir . Por último definiremos un método de mallado, en concreto triangular ya que no tenemos una dirección de flujo preferente. Una vez tenemos nuestro diseño mallado definimos los nombres de las secciones que servirán para identificarlas en el solver posteriormente. Estableceremos el inlet y el outlet en nuestra superficie del fluido, 2 interfaces, una interna y otra externa y nuestra semilla.

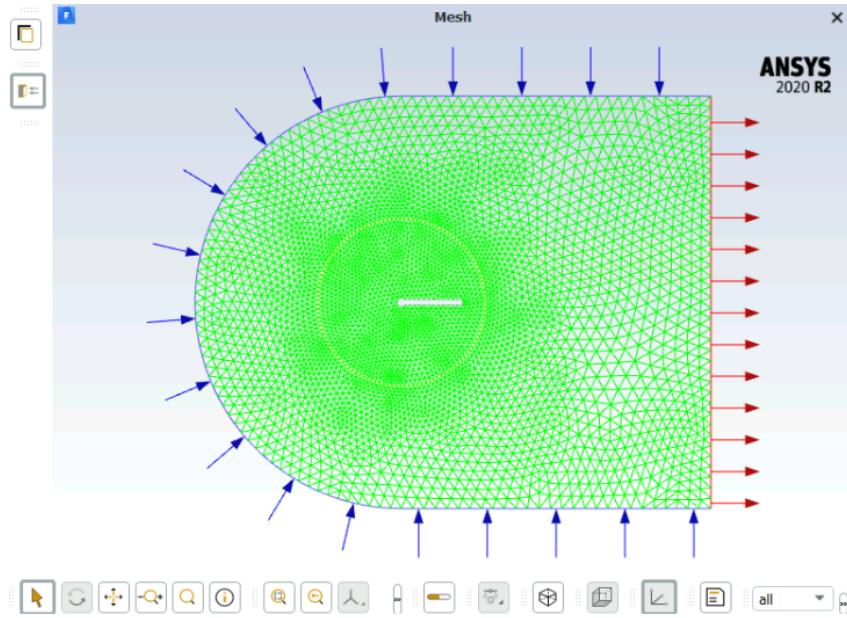


Figure 8: Mallado modelo transitorio

3.3 Solver modelo rotativo transitorio

Para la resolución de nuestro modelo rotatorio usaremos un solver basado en la presión ya que lo que tenemos es un flujo incompresible y subsónico y un solver de régimen transitorio. Para nuestro estudio elegimos un modelo de turbulencia k-epsilon realizable ya que nos interesa ver como varía el flujo tanto en la semilla como en las zonas lejanas a la semilla como puede ser la superficie rotativa. Dentro de la sección de cell zones conditions seleccionamos la superficie a rotar y definimos la rotación mediante un mesh motion con rotación en el eje x de 0,5 y una velocidad de rotación de 86 rad/s. Dentro de la sección de boundary conditions en el inlet definimos la velocidad de entrada y seleccionamos intensidad y escala de longitud, en el outlet seleccionamos intensidad y escala de longitud y definimos nuestra semilla como una pared con movimiento rotacional. Después, creamos una interfaz Int1 seleccionando en la zona de interfaz 1 nuestra interfaz interna y en la zona de interfaz2 la externa. El método de resolución que hemos usado para este modelo va a ser el Coupled y todas las resoluciones van a ser de 2º grado. Por último, realizamos una inicialización híbrida que calcula los valores iniciales para cada celda y realizamos las animaciones de presión y de velocidad dentro de la sección de calculation activities mientras iteran los residuos.

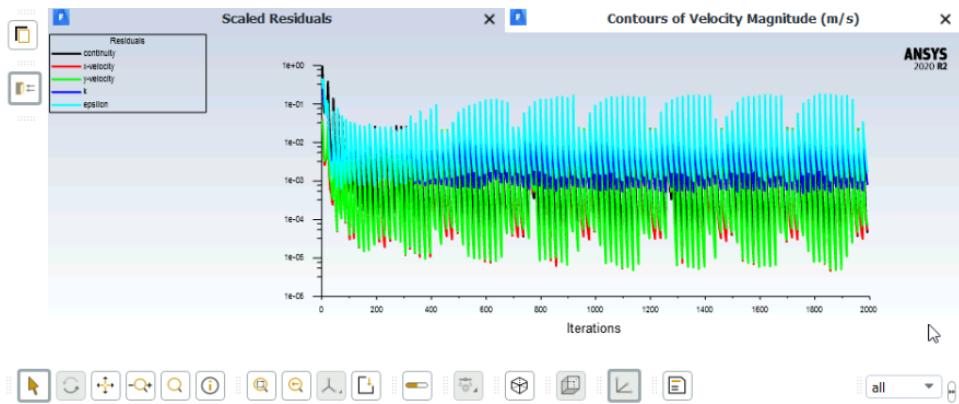


Figure 9: Iteraciones de residuos

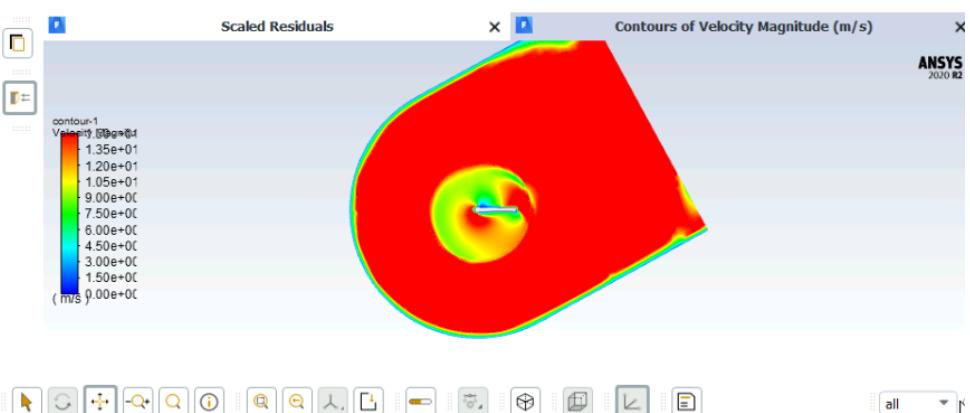


Figure 10: Contorno de velocidad

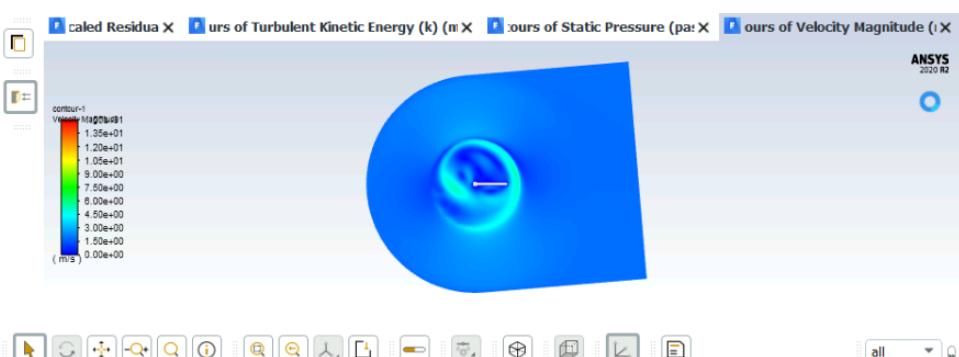


Figure 11: Contorno de velocidad 2

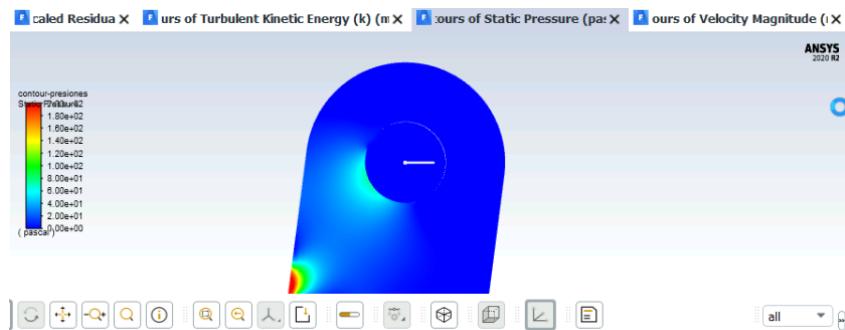


Figure 12: Contorno de presión

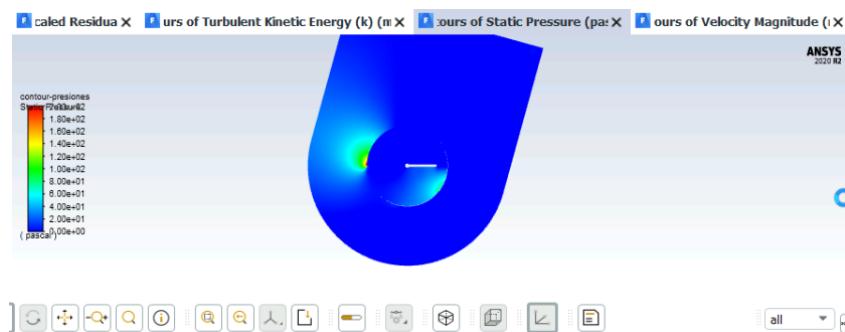


Figure 13: Contorno de presión 2

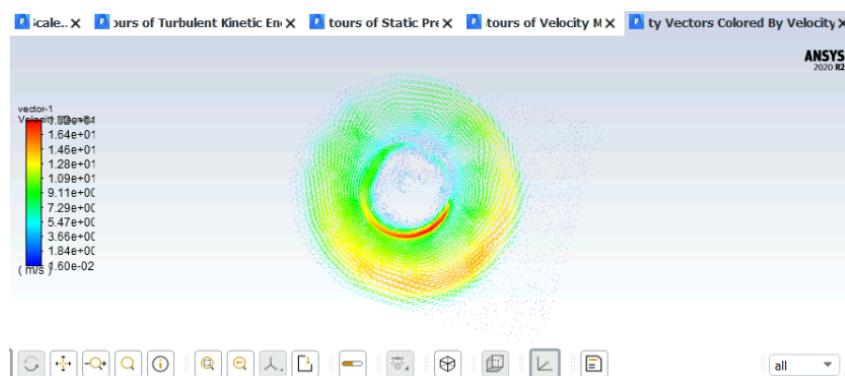


Figure 14: Vectores de velocidad

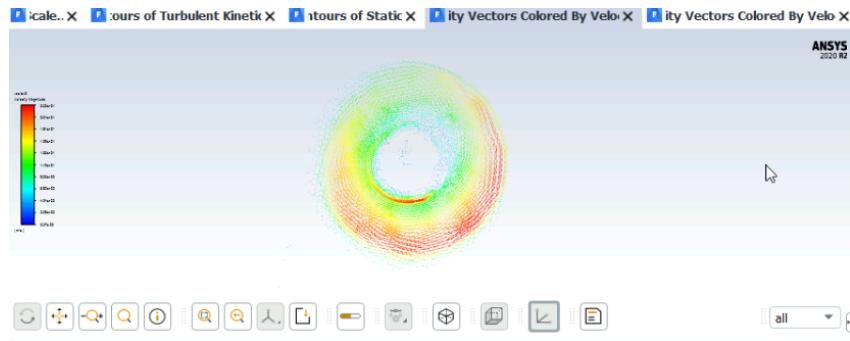


Figure 15: Vectores de velocidad 2

Por último, observamos las líneas de campo desarrolladas en nuestra semilla durante la rotación:

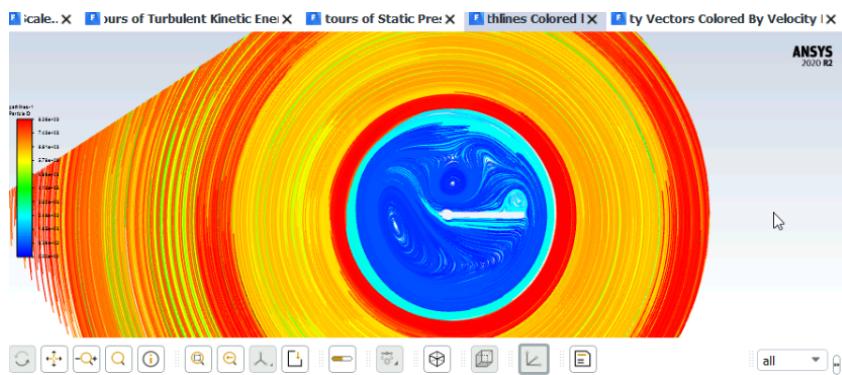


Figure 16: Líneas de trayectoria

4 Cambios posibles

El objetivo inicial de este proyecto incluía el análisis tridimensional de la aerodinámica de la semilla, pero debido a distintas limitaciones técnicas, y múltiples errores por parte del programa, no pudimos llevarlo a cabo. Sin embargo, logramos obtener una geometría facetada de muy buena calidad, una simplificación de la misma para facilitar el mallado, y una malla rotativa.

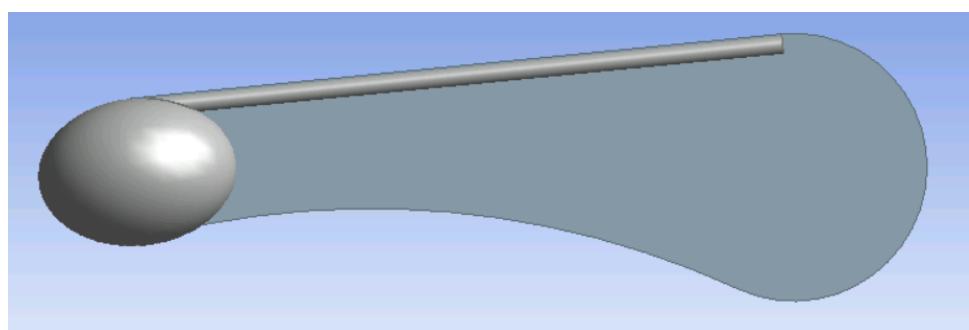


Figure 17: Geometría aproximada de la semilla en 3D

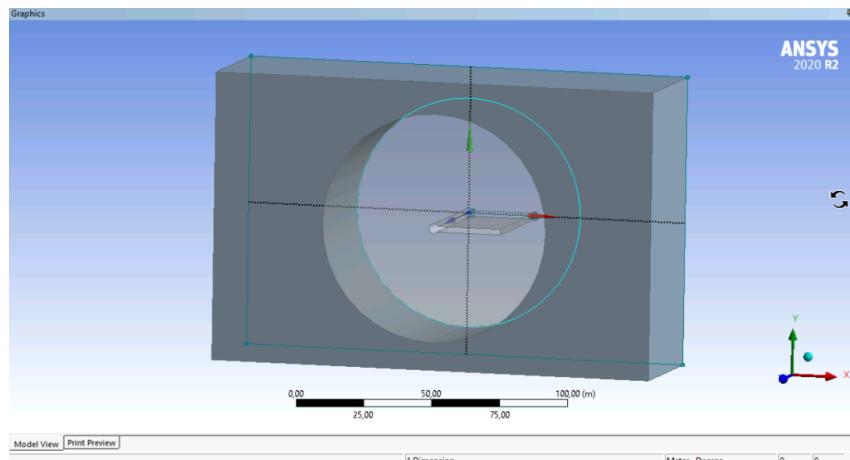


Figure 18: Volumen de control 3D

References

- [1] Philip Desenfans. 2019. URL: <https://www.fzt.haw-hamburg.de/pers/Scholz/arbeiten/TextDesenfans.pdf> (page 2).
- [2] Myong Hwan Sohn and Dong Kyun Im. *Flight characteristics and flow structure of the autorotating maple seeds - Journal of Visualization*. Jan. 2022. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12650-021-00812-9> (page 2).