



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo

Desarrollo de material didáctico para experimentación y simulación en Aerodinámica usando modelos impresos en 3D (PINN-19-A-007)

Convocatoria de los Proyectos de Innovación Docente 2019

Pedro García Regodeseves – garciarpedro@uniovi.es - Energía
Carlos Santolaria Morros – cs@uniovi.es – Energía
Adrián Pandal Blanco – pandaladrian@uniovi.es - Energía
Antonio Navarro Manso – navarroantonio@uniovi.es - Energía

Palabras clave: impresión 3D; túnel de viento; CFD; mecánica de fluidos

Tipo de proyecto

Tipo A (PINN-18-A)	X
--------------------	---

Tipo B (PINN-18-B)	
--------------------	--

Resumen / Abstract

En Aerodinámica se estudia la interacción de objetos con el aire. Los conocimientos teóricos se refuerzan mediante prácticas de túnel de viento y simulaciones numéricas. Para la experimentación es necesario disponer de modelos, los cuales pueden ser muy laboriosos de fabricar. La impresión 3D permite resolver este problema. En los últimos años, esta tecnología ha experimentado un importante desarrollo. Además, los fabricantes han introducido en el mercado kits para que el cliente monte las impresoras siguiendo los pasos indicados en el manual de usuario. Esta estrategia de mercado ha sido beneficiosa, puesto que ha reducido considerablemente el precio de las impresoras 3D. En el área de Mecánica de Fluidos las impresoras adquiridas pertenecen a esta categoría.

La planificación del proyecto de innovación comprendió varias sesiones presenciales que cubrieron los aspectos esenciales relacionados con la investigación de modelos aerodinámicos. La primera sesión estuvo dedicada a la presentación de la impresión 3D para crear los modelos, en la que se indicaron los beneficios y las limitaciones de trabajar con objetos impresos. Además, se mostraron estrategias de diseño esenciales y se explicaron los parámetros relevantes en el proceso de impresión de modelos. La segunda sesión se dedicó a la impresión de los diseños. Durante la sesión, otros modelos impresos se utilizaron para



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo

mostrar los efectos de los distintos parámetros. Puesto que la impresión es un proceso lento, completar la impresión de los modelos de todos los grupos requirió de varios días. La tercera sesión se dedicó a la experimentación en túnel de viento usando dos modelos: una barra de sección cuadrada y otra de sección elíptica. La importancia de la impresión 3D se evidenció al estar presente en los postizos, para reducir los efectos 3D en los bordes de los perfiles, como en el utillaje que permite experimentar con diferentes ángulos de ataque de la corriente incidente en el perfil. La última sesión consistió en simular mediante técnicas numéricas los perfiles, para profundizar en el conocimiento del comportamiento aerodinámico a través de la interpretación de las predicciones que se obtuvieron al resolver las ecuaciones de gobierno del flujo.

Este proyecto representó una importante innovación en la asignatura, al combinar tecnologías en auge de la industria 4.0 con el uso de técnicas de investigación experimentales y computacionales. Además, se aportó nuevo material didáctico y se fomentó la participación activa de los estudiantes

1 Contribución del proyecto a la consecución de los objetivos específicos y de los objetivos de la convocatoria

1.1 Objetivos específicos del proyecto conseguidos. Indicar y valorar el grado de consecución de cada uno.

El primer objetivo fue proporcionar formación actualizada mediante el uso de la impresión 3D para la materialización de objetos de interés y su posterior estudio experimental en túnel de viento y simulación numérica. El uso de esta tecnología en el área tiene un enorme potencial, de modo que se consideró interesante una formación previa que facilitase la posterior actividad profesional. Este objetivo fue acogido con entusiasmo por todo el alumnado de la asignatura, lo que propició que se cumpliera satisfactoriamente (*Grado de consecución: 100%*)

El segundo objetivo fue poner en práctica metodologías relacionadas tanto con la experimentación como con la simulación numérica. Con respecto de la parte experimental, el objetivo fue realizar ensayos en túneles de viento, para asimilar la importancia de la planificación, usar aparatos de medida y comprobar de primera mano sus ventajas y limitaciones.

Con la simulación numérica, el objetivo fue introducir el uso de técnicas de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) con el software comercial Ansys Fluent®, para obtener modelos que predijesen el comportamiento del flujo alrededor de los objetos impresos. Ambos objetivos se cumplieron



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo

satisfactoriamente, de modo que se ensayaron objetos impresos 3D y se realizaron las simulaciones correspondientes. (*Grado de consecución: 100%*)

El proyecto requirió de una buena coordinación docente, puesto que ha sido un proyecto integral en el que se emplearon diferentes técnicas para estudiar la aerodinámica de objetos. Así, el alumnado 1) asimiló el contenido de las clases magistrales, y puso en práctica tanto 2) técnicas experimentales como 3) técnicas numéricas, mediante el estudio de objetos obtenidos con 4) técnicas de impresión 3D. Los integrantes del presente proyecto de innovación se coordinaron adecuadamente para completar satisfactoriamente todas las actividades que se plantearon al inicio de las prácticas. (*Grado de consecución: 100%*)

1.2 Objetivos de la convocatoria a los que se dirigía el proyecto conseguidos. Indicar valoración del grado de consecución.

Los objetivos de la convocatoria se correspondieron con los apartados siguientes:

1. Innovación docente en el ámbito de la metodología docente. f) Desarrollar acciones de innovación docente con **tecnologías avanzadas** como el aprendizaje con dispositivos móviles, gamificación, realidad aumentada, learning analytics, etc. (*Grado de consecución: 100%*)

3. Innovación docente en el ámbito de la tutoría y la orientación de los y las estudiantes hacia su futuro laboral. d) Desarrollar **metodologías** de enseñanza-aprendizaje de carácter práctico y relacionado con una futura incorporación del alumnado al **mundo laboral**. (*Grado de consecución: 100%*)

4. Innovación en el ámbito de la **coordinación docente**. b) Potenciar la coordinación entre profesores, así como el desarrollo de proyectos interdisciplinarios e intercurriculares. [...] (*Grado de consecución: 100%*)

2 Contribución del proyecto al plan estratégico de la Universidad y repercusiones en la docencia. *Para la elaboración de este apartado describir el grado de cumplimiento de los compromisos adquiridos del punto 5 de la solicitud del proyecto.*

2.1 Alineamiento del Proyecto de Innovación Docente con el Plan Estratégico 2018-2022 de la Universidad de Oviedo en materia docente.

El proyecto de innovación se alineó con los epígrafes FAE 5 (50%), FAE 6 (5%), FAE 7 (35%) y FAE 15 (10%).



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo

Respecto al epígrafe FAE 5, el resultado de haber introducido la impresión 3D como nueva técnica docente ha sido satisfactorio, y dada la relevancia de esta tecnología es de esperar que su avance sea extensible.

Respecto al epígrafe FAE 6, el uso de la impresión 3D ha requerido de conocimientos avanzados de herramientas digitales y se ha usado el Campus Virtual de la Universidad de Oviedo como herramienta de difusión y comunicación online.

Respecto del epígrafe FAE 7, el proyecto de innovación docente se ha beneficiado del acceso a los recursos de impresión 3D de los que dispone el área de Mecánica de Fluidos para proporcionar una experiencia altamente innovadora en la asignatura.

Respecto del epígrafe FAE 15, la puesta en marcha del proyecto de innovación docente ha puesto en contacto a alumnos de último curso del Master de Ingeniería Industrial con técnicas de alto valor añadido: la impresión 3D es una técnica incluida en la industria 4.0, la experimentación acerca al alumno a conocimientos de campo y la simulación CFD tiene una alta valoración en la investigación.

Por todo ello, se concluyó que el proyecto estuvo alineado favorablemente con el Plan Estratégico 2018-2022 de la Universidad de Oviedo en materia docente.

2.2 Grado de consecución de las repercusiones esperadas del proyecto (en la docencia específica y en el entorno docente)

La puesta en marcha del proyecto con otros profesores ha sido fundamental en el proyecto de innovación docente. La repercusión del proyecto y el aumento de la colaboración ha sido un éxito.

La publicación está dentro de los planes de los integrantes del proyecto. En un futuro se espera participar en congresos o en revistas indexadas.

El proyecto de innovación, como herramienta y aplicación tecnológica, ha sido altamente motivante para el equipo docente, y muy bien acogido por el alumnado.

La posibilidad de una continuidad en el proyecto es alta por la buena acogida que ha tenido.



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo

3 Memoria del Proyecto

3.1 Marco Teórico del Proyecto

El proyecto de innovación se ha llevado a cabo en las prácticas de laboratorio de la asignatura Aerodinámica del Máster de Ingeniería Industrial, la cual se imparte en el segundo curso durante el primer cuatrimestre. El enfoque de las prácticas de la asignatura en cursos previos se caracterizaba por familiarizar al alumnado con técnicas de gran importancia en el estudio de la aerodinámica: la simulación numérica y la experimentación. Con el proyecto de innovación, las prácticas se beneficiaron también de la impresión 3D.

La necesidad de introducir técnicas recientes en la formación de los estudiantes es evidente cuando se trata de favorecer que los conocimientos se mantengan actualizados. Este proyecto de innovación docente se caracterizó por introducir la impresión 3D, realizar experimentos en túnel de viento y emplear simulaciones numéricas para mostrar detalles del flujo que no pueden ser observados fácilmente en el laboratorio.

Ford, S and Minshall, T. (2019) muestran el estado del arte para conocer qué tipo de centros educativos emplean la impresión 3D. Fundamentalmente, las cuestiones que trataron de esclarecer fue el tipo de centros que han usado esta técnica en la enseñanza y el uso que le han dado. Una clara conclusión es que escuelas de ingeniería se encuentran entre los centros que la han adoptado más rápidamente. Además, los beneficios no solo favorecen una mejora en el aprendizaje, sino que aumentan la motivación tanto de los estudiantes como del profesorado.

El uso de túneles de viento en la educación es importante. Así, Ernst, E. W. (1983) describe como la familiarización, la identificación del modelo y la validación de suposiciones, entre otros, son aspectos clave que favorecen al aprendizaje. Njock Libii, J. (2011) indica que la experimentación en túnel de viento fortalece los conocimientos en materia de mecánica de fluidos y propone un procedimiento de experimentación para el estudio de la aerodinámica. Hoy en día, es frecuente que las escuelas de ingeniería dispongan de túneles de viento para que el alumnado pueda realizar prácticas.

Las simulaciones numéricas permiten mostrar el flujo alrededor de objetos. El uso de técnicas de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) es frecuente en la investigación. Vicéns-Moltó, J. L., Zamora-Parra, B. (2014) muestran como esta herramienta se suele usar en cursos avanzados de Grado o Posgrado y destacan la importancia de una buena metodología, de la capacidad de interpretar los resultados y de los conceptos. Sert, C. and Nakiboglu, G. (2007) destacan la importancia de las técnicas CFD en la enseñanza. El estudio de flujos complicados se beneficia enormemente de realizar simulaciones numéricas, debido a que los fenómenos son difíciles de visualizar cuando se sigue una aproximación teórica o experimental. Este es el caso del estudio del comportamiento aerodinámico de objetos.



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo

El presente proyecto de innovación trató de proporcionar una formación integral para que los estudiantes pudiesen identificar las fortalezas y debilidades de cada una de las técnicas empleadas, con la impresión 3D como elemento innovador de la asignatura Aerodinámica.

3.2 Metodología utilizada

3.2.1 Plan de Trabajo desarrollado

1. **Reunión para planificación del trabajo:** En la primera fase del proyecto se decidió el plan de trabajo. El calendario de cada una de las sesiones de las que constaría el proyecto de innovación se fijó el 27 de septiembre.
2. **Elaboración de material docente para las sesiones I y II:** Previamente a la primera sesión con los alumnos, se elaboró el material docente relacionado con la impresión 3D. Una vez finalizado se subió al Campus Virtual.
3. **Sesión I:** La primera sesión de una hora de duración tuvo lugar el 2 de octubre en el aula 5 del edificio de energía. Se presentó el proyecto de innovación, se expuso el material elaborado para imprimir en 3D, se crearon grupos de trabajo y se asignaron las piezas que se tendrían que imprimir.
4. **Sesión II:** La segunda sesión de dos horas de duración tuvo lugar el 30 de octubre en la sala de impresión 3D. La pieza que cada grupo eligió para imprimir en 3D se cargó en la impresora. Mientras cada grupo preparaba su pieza para ser impresa, al resto de alumnos se les mostró una selección de piezas que mostraban características representativas de las técnicas de impresión 3D.
5. **Elaboración de material docente para la sesión III:** Previamente a la tercera sesión con los alumnos, se elaboró el material docente relacionado con la experimentación en túnel de viento. Una vez finalizado se subió al Campus Virtual.
6. **Sesión III:** La tercera sesión de dos horas de duración tuvo lugar el 6 de noviembre en el túnel de viento. Se mostró cada una de las partes del túnel y su función. Se mostraron los aparatos de medida y las piezas que se eligieron las piezas a ensayar: un perfil de sección rectangular y un perfil de sección elíptica. Se realizó la calibración de los aparatos de medidas y se midieron las fuerzas de sustentación y de arrastre para varios ángulos de incidencia del viento, haciendo uso del utillaje diseñado para este tipo de ensayos e impreso en 3D.
7. **Elaboración de material docente para la sesión IV:** Previamente a la cuarta sesión con los alumnos, se elaboró el material docente relacionado con la simulación numérica de los modelos. Una vez finalizado se subió al Campus Virtual.



8. **Sesión IV:** La cuarta y última sesión tuvo lugar el 20 de noviembre en la sala de cálculo durante dos horas. Los alumnos descargaron uno de las geometrías propuestas y realizaron el pre-procesado, el procesado y el post-procesado para llevar a cabo las simulaciones numéricas.
9. **Finalización de las simulaciones:** Los alumnos que no consiguieron acabar durante la sesión, la completaron por su cuenta y consultaron dudas en sesiones de tutorías.
10. **Encuesta de satisfacción:** En la última sesión de las prácticas se repartió el cuestionario de satisfacción del proyecto de innovación.

3.2.2 Descripción de la Metodología

Elección del tema de estudio

Para facilitar la integración del proyecto de innovación en el conjunto de la asignatura, se planteó como tema central de las prácticas el estudio de perfiles aerodinámicos (ver figura 1).

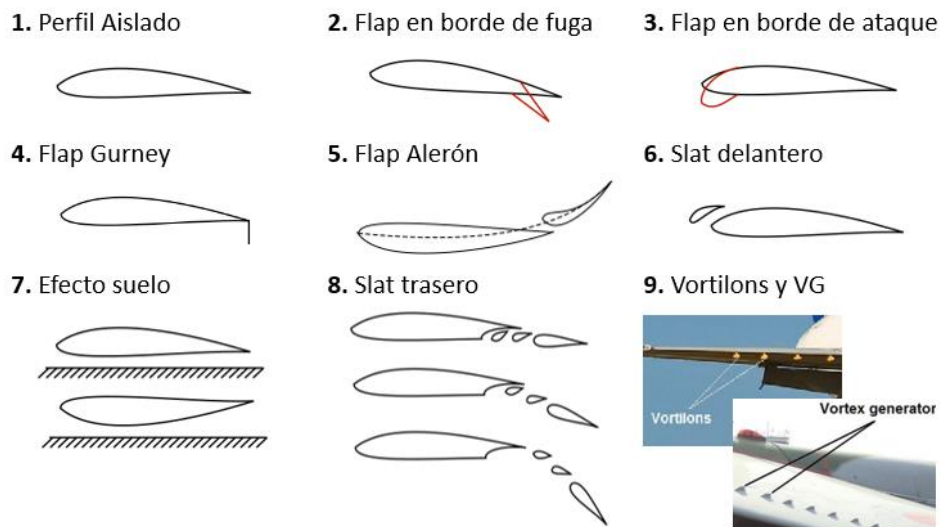


Figura 1. Configuraciones propuestas a los alumnos.

Así, se asignó a todos los grupos un perfil base de la familia NACA 4 y varias configuraciones de uso habitual en aeronáutica y en vehículos de competición. Cada grupo eligió las configuraciones de entre las nueve que se propusieron (ver tabla 1).



Tabla 1. Configuraciones elegidas por los alumnos.

		Configuración								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Grupo	1	●	●	●						
	2	●		●	●					
	3	●	●					●		
	4	●	●				●			
	5	●				●	●			
	6	●							●	

Impresión 3D

El área de mecánica de fluidos de la Universidad de Oviedo cuenta con una sala dedicada a la impresión 3D (ver figura 2). Cada grupo de alumnos tuvo que preparar una pieza basada en las configuraciones de perfiles propuestos y tenerla lista para cargarla en las impresoras 3D.

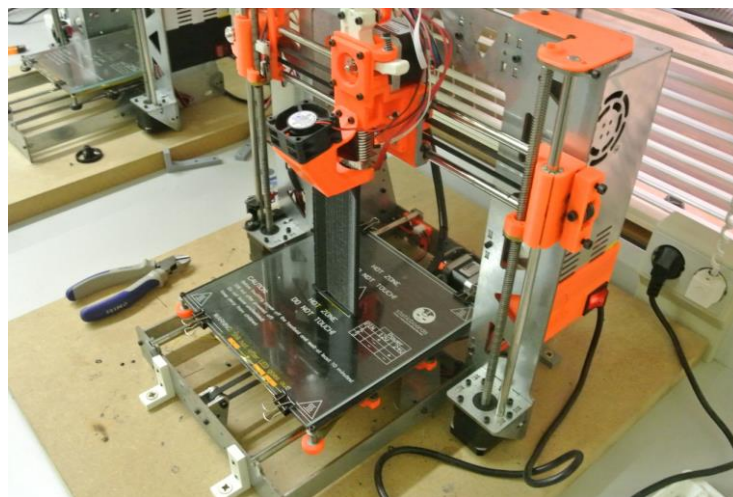


Figura 2. Sala de impresión 3D del área de mecánica de fluidos de la Universidad de Oviedo.

Durante la sesión, los grupos realizaron los ajustes finales a las piezas y las cargaron en la impresora 3D. Además, se seleccionó una colección de piezas para explicar aspectos importantes. La impresión es un proceso lento, de modo que se dejó imprimiendo una de las piezas y en días sucesivos se imprimieron el resto. Todos los grupos lograron imprimir correctamente las piezas que se habían propuesto (ver figura 3).



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo

La altura de las piezas impresas está limitada a 20 cm, debido al desplazamiento máximo que permite el cabezal de impresión. Por lo tanto, cada grupo puso en práctica técnicas para fabricar piezas de un tamaño superior (ver figura 4).

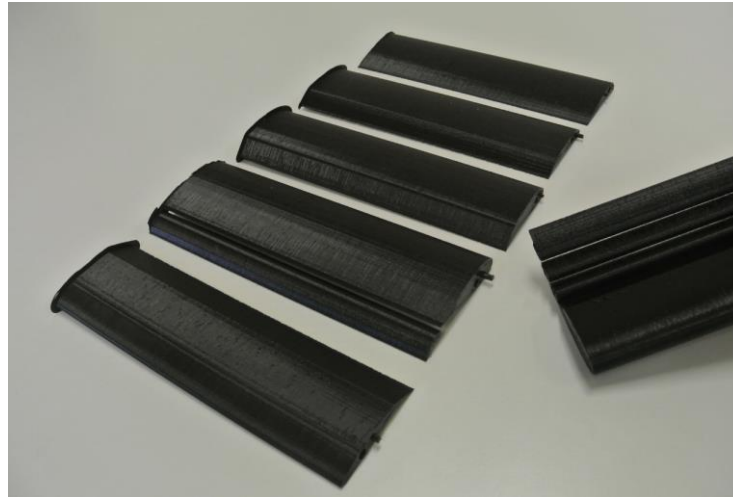


Figura 3. Configuraciones de perfiles aerodinámicos impresos en 3D.

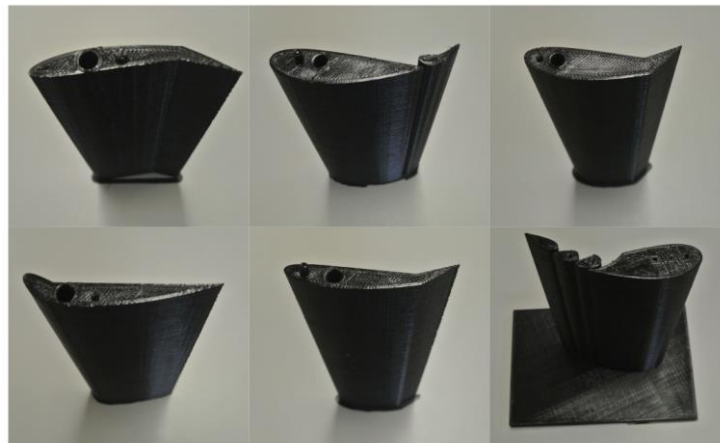


Figura 4. Configuraciones de perfiles aerodinámicos impresos en 3D (cont.).

Mediciones en túnel de viento

Para la sesión dedicada a experimentación con piezas impresas en 3D se imprimieron previamente las partes de dos perfiles, y se ensamblaron para adecuarlos al ancho de la sección de salida de la tobera del túnel de viento. Puesto que el ancho de la tobera es de 70 cm, se imprimieron tres partes de cada uno de los perfiles y se unieron mediante una barra metálica pasante, salientes de posicionamiento en uno de los extremos y cola.



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo

El cabezal de las impresoras produce un acabado superficial que puede afectar las mediciones. Por lo tanto, los perfiles ensayados tuvieron que ser tratados para mejorar el acabado superficial.

Otra consideración a tener en cuentas, es que los efectos tridimensionales en los extremos de un perfil de envergadura finita son importantes. Una solución que ha mostrado una reducción de tales efectos ha sido acoplar dos placas laterales en los extremos de los perfiles.

En la figura 5 se muestran los dos perfiles ensayados: uno de sección rectangular y el otro de sección elíptica. En los extremos sobresalen las placas laterales, y en el perfil de sección cuadrada también se aprecia la barra pasante usada para ensamblar las piezas impresas y permitir el ajuste del ángulo de ataque del viento sobre el perfil. El perfil elíptico ya montando en el túnel de viento se muestra en la figura 6.

En uno de los extremos del soporte de los perfiles se encuentra el mecanismo que permite la sujeción del perfil (ver figura 7). Además, consta de un engranaje con un tornillo sin fin para ajustar la posición angular del perfil con una relación entre marcas de la rosca y los grados girados de 2:1. La medición de las fuerzas que actúan sobre el perfil debidas a la acción del viento se realiza mediante galgas extensiométricas.

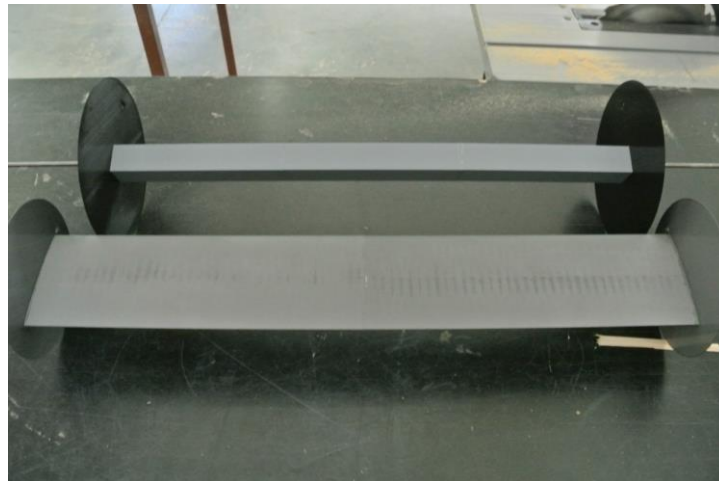


Figura 5. Perfiles impresos en 3D y ensayados en el túnel de viento.



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo

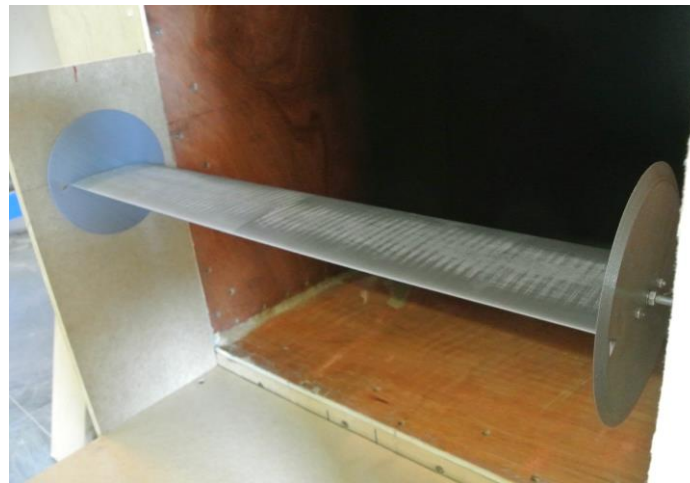


Figura 6. Perfiles impresos en 3D y ensayados en el túnel de viento.



Figura 7. Perfiles impresos en 3D y ensayados en el túnel de viento.

La calibración de las galgas se debe realizar para cada perfil antes de realizar las medidas. Para que los alumnos conociesen el proceso completo, se optó por realizarla durante las prácticas. El procedimiento se basó en imponer fuerzas de sustentación y de arrastre de valor conocido para obtener la matriz de calibración de las galgas. Para el perfil de sección rectangular se hizo el proceso completo. En el caso del perfil elíptico, fue necesario cargar una matriz de calibración obtenida previamente debido a la limitación en el tiempo disponible.

El comportamiento del perfil de sección cuadrada se pudo estudiar para tres posiciones: 0° , 45° y 90° , mientras que el perfil de sección elíptica se estudió para la posición de 0° . En la figura 8 se muestra un esquema de la posición relativa de los perfiles respecto del viento en la zona de ensayo.

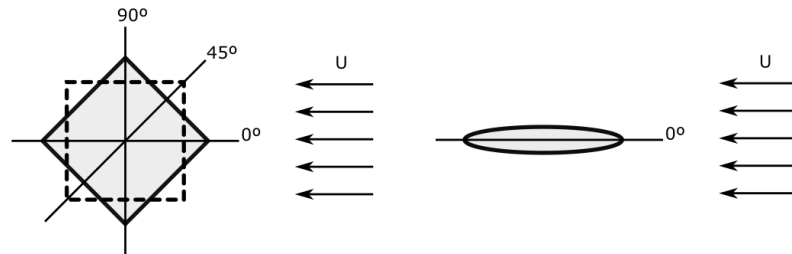


Figura 8. Posiciones fijadas para la Investigación del comportamiento aerodinámico de los perfiles.

Simulaciones numéricas

La resolución de las ecuaciones que gobiernan el flujo mediante técnicas de dinámica de fluidos computacional proporciona información relevante que complementa a los resultados obtenidos experimentalmente.

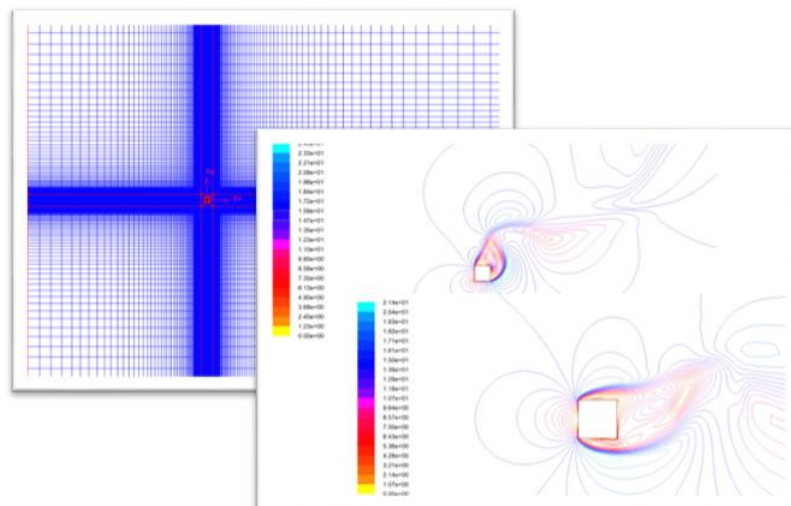


Figura 9. Dominio computacional (fondo) y contornos de velocidad de perfil de sección cuadrada en dos de las posiciones investigadas.

El punto de partida es definir un dominio físico que contiene al objeto del que se quiere conocer su comportamiento aerodinámico. A continuación, se crea la geometría asociada mediante programas de dibujo técnico. Definida la geometría se genera una malla que rellena todo el dominio. Esta malla estará compuesta por celdas del tamaño adecuado como para adaptarse a la geometría. La calidad de la solución estará fuertemente condicionada por la forma y tamaño de estas celdas, de modo que es necesario poner especial énfasis en crear celdas adecuadas en las zonas en las que se produzca algún fenómeno físico de relevancia. Estas celdas se corresponden con las zonas comprendidas entre las líneas de color azul de la imagen de fondo de la figura 9.

Las ecuaciones de gobierno se resuelven numéricamente en cada una de las celdas que componen la malla del dominio computacional mediante el método de



los volúmenes finitos. Así, en cada una de las celdas se imponen las ecuaciones de conservación de masa, de cantidad de movimiento y del tratamiento de la turbulencia. La resolución del sistema de ecuaciones es un proceso iterativo. Así, es necesario imponer condiciones en los contornos del dominio e imponer los valores iniciales en los centroides de todas las celdas. Como resultado, se podrán conocer las variables primitivas de velocidad y presión en cada punto del dominio y, en consecuencia, las fuerzas aerodinámicas que actúan sobre el objeto. En la figura 9 también se muestran los contornos de velocidad para las posiciones de 0º y de 45º.

3.3 Resultados alcanzados

3.3.1 Valoración de indicadores detallando los instrumentos utilizados para recoger la información, se valora la inclusión de tablas o figuras que faciliten la comprensión de lo expuesto. Al menos un indicador se vinculará con el grado de satisfacción del alumnado que participe en el proyecto.

Tabla resumen (a incluir obligatoriamente)

Nº	Indicador	Modo de evaluación	Rangos fijados	Rangos obtenidos
1	Encuesta de satisfacción	Al finalizar las prácticas se facilitará un cuestionario para valorar el grado de satisfacción del alumnado.	Menor de 40%: bajo. Entre 40% y 60%: aceptable. Mayor de 60%: bueno	Bueno (93%)
2	Impacto de las actividades en la nota de prácticas.	Modificación de la nota media de los alumnos con respecto del curso 2018-2019	Mayor de 0.25: Bueno. Entre 0.0 y 0.25: Aceptable. Menor de 0: Malo	Bueno (+0.344; +6.5%)

Además de los indicadores mostrados en la tabla, cabe destacar que el aprovechamiento de las prácticas se completó con la impresión correcta de todas las piezas, la realización de las actividades planteadas en el túnel de viento, y de las simulaciones (con su cuestionario correspondiente) como actividad del campus virtual. Dado el seguimiento a los estudiantes, el porcentaje que completó cada una de las actividades satisfactoriamente llegó al 100%.

Encuesta de satisfacción

Al finalizar las actividades, se hizo una encuesta presencial, por escrito, anónima y voluntaria para valorar el nivel de satisfacción general del alumnado en relación a las actividades realizadas. Se plantearon las siguientes preguntas:



1. ¿Conocía el uso de la impresión 3D para fabricar prototipos para ensayos?
2. Como introducción a la impresión 3D, ¿El material, indicaciones y consejos sobre impresión 3D le han sido de utilidad?
3. ¿Considera que el tiempo que ha tenido que dedicar a elaborar e imprimir los modelos 3D ha sido adecuado?
4. ¿Su valoración general de la actividad de impresión 3D ha sido positiva?
5. ¿Había realizado con anterioridad ensayos en túnel de viento?
6. ¿El tiempo dedicado al montaje y calibración de la balanza le ha parecido útil?
7. ¿La metodología seguida le ha resultado útil para entender el uso y aplicación de un túnel de viento?
8. ¿Su valoración general de la actividad del túnel de viento ha sido positiva?
9. ¿Había realizado con anterioridad simulaciones de Dinámica de Fluidos Computacional?
10. ¿Considera que ha adquirido competencias para usar técnicas CFD en simulaciones 2D?
11. ¿Considera que los conocimientos adquiridos sobre técnicas CFD le serán de utilidad en su campo de interés?
12. ¿Su valoración general de las simulaciones CFD ha sido positiva?
13. ¿Las actividades planteadas le han motivado para seguir la asignatura?
14. ¿Valora positivamente el Proyecto de Innovación?

Todos los alumnos participaron en las actividades propuestas y realizaron la encuesta, de modo que la población fue de doce alumnos (figura 10).

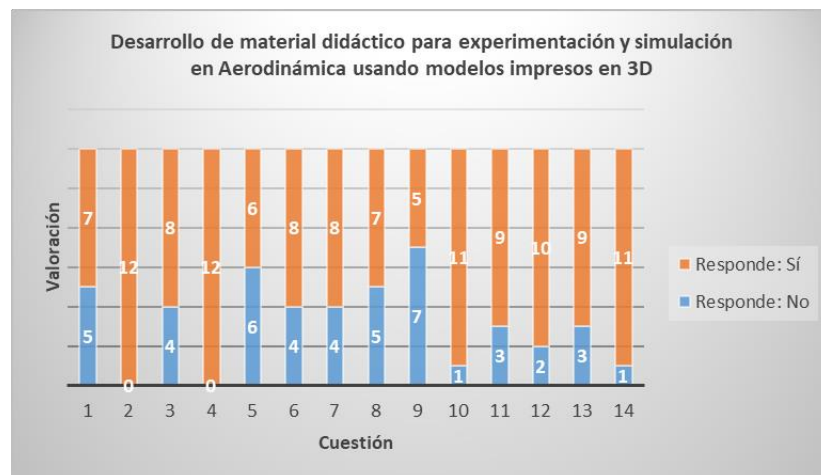


Figura 10. Resultados de la encuesta de satisfacción.

Las preguntas 1, 5 y 9 se corresponden con los conocimientos previos sobre impresión 3D, experimentación en túnel de viento y realización de simulaciones numéricas previas al proyecto de innovación. Un 58% ya conocía la impresión 3D, un 50% ya había realizado prácticas en túnel de viento y 42% conocía el uso de las simulaciones para la resolución de ecuaciones de gobierno de flujos de interés.



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo

Las preguntas 2, 3, 6, 7, 10 y 11 están relacionadas con el contenido de cada una de las sesiones. En la parte de impresión 3D, la mayoría de alumnos considera que el material aportado (100%) y el tiempo dedicado (67%) ha sido adecuado. Para la experimentación en túnel de viento, un número importante de alumnos valora adecuadamente la importancia de la fase de preparación y calibración de los ensayos (67%). Sin embargo, el hecho de que el número de alumnos fuese alto ha tenido un impacto evidente en la valoración en las actividades realizadas (67%), a pesar de que se planificaron las actividades para que cada alumno pudiese realizar algún tipo de actividad. La parte de simulaciones CFD tiene una gran importancia en las prácticas, de modo que es representativo y satisfactorio comprobar que un elevado número de alumnos considere que al finalizar las prácticas ha adquirido competencias adecuadas (92%) que le serán de utilidad en su actividad profesional (75%).

Como valoración general, todos los alumnos (100%) han valorado positivamente la parte de impresión 3D; la parte de experimentación en túnel de viento ha sido valorado positivamente (58%), a pesar del excesivo número de alumnos en la sesión y las tareas de calibración; y la parte de simulación numérica recupera la valoración positiva mayoritaria (83%).

En resumen, las actividades realizadas han motivado a un elevado número de alumnos a seguir la asignatura (75%), con una percepción general de las actividades realizadas durante el proyecto de innovación muy favorable (92%).

Aprovechamiento de las prácticas

Sesión de impresión 3D: Todos los alumnos generaron la geometría del perfil aerodinámico de acuerdo a las recomendaciones dadas y asistieron con la pieza preparada. Como resultado, todas las piezas se imprimieron correctamente. El porcentaje de alumnos que alcanzó los objetivos de la sesión de impresión 3D fue del 100%.

Sesión de túnel de viento: Todos los alumnos asistieron a la sesión de experimentación en túnel de viento. El número de alumnos presentes en la misma sesión motivó la subdivisión de las actividades, de modo que pudiesen intervenir activamente todos los alumnos. Como consecuencia de la calibración de la balanza para realizar correctamente las mediciones, solo fue posible obtener las fuerzas aerodinámicas para el perfil rectangular en tres orientaciones de la corriente distintas. Para el caso del perfil elíptico, se tuvo que reducir el número de mediciones a una sola orientación, y usar una matriz previamente calibrada. El resultado fue que todas las actividades planteadas durante la sesión se completaron correctamente y proporcionaron resultados válidos para realizar la



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo

siguiente sesión. Así, el porcentaje de alumnos que alcanzó los objetivos de la sesión de experimentación en túnel de viento fue del 100%.

Sesión de simulación numérica: Esta sesión fue concebida para ser realizada durante dos horas. Se proporcionó la geometría del dominio computacional con varias opciones de topologías distintas. Los conocimientos que los alumnos habían adquirido durante otras sesiones de prácticas fue de gran ayuda, aunque un número de alumnos encontró insuficiente el tiempo para finalizar las simulaciones y responder a las preguntas del guion. Fue satisfactorio comprobar que durante sesiones extraordinarias los alumnos acudieron a completar las actividades propuestas que no habían completado. Así, el porcentaje de alumnos que alcanzó finalmente los objetivos de la sesión de simulación numérica fue también del 100%.

3.3.2 Observaciones más importantes sobre la experiencia relacionando los resultados con los objetivos del proyecto evitando afirmaciones que no estén fundamentadas en lo realizado, redundancias o reiteraciones.

La integración del proyecto de innovación docente en las prácticas de la asignatura se facilitó mediante la elección de un tema que permitió combinar el enfoque clásico de las prácticas con la innovación del proyecto. Así, se proporcionó una continuidad en los contenidos de las prácticas que propició la buena acogida del proyecto.

El proyecto ha tenido un enfoque mediante el cual se intentó integrar la impresión 3D con técnicas de gran importancia en aerodinámica y, por extensión, en la mecánica de fluidos.

La impresión 3D ha tenido la mejor acogida, por ser una innovación; seguida del estudio de la aerodinámica de objetos mediante simulaciones numéricas, dado su importancia y la dedicación docente que hizo que los alumnos percibiesen el incremento de conocimientos y afrontasen las actividades planteadas con confianza; y finalmente la experimentación en túnel de viento, que quizás se resintió del número de alumnos presentes en la sesión.

3.3.3 Información online, publicaciones o materiales en abierto derivados de los resultados del proyecto (se valorará especialmente que se proporcionen los enlaces a los mismos)

1. Material sobre impresión 3D

[Material sobre impresión 3D](#)

[Selección del tema, grupos de trabajo, planificación y trabajo final](#)



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo

2. Material sobre experimentación en túnel de viento

[Guion y hoja de resultados](#)

3. Material sobre simulaciones numéricas

Ayudas: [Tutorial 1](#) (cilindro)+ [Tutorial 2](#) (perfil aerodinámico)

Respuestas: [Tutorial 1](#) (cilindro) + [Tutorial 2](#) (perfil aerodinámico)

4. Geometrías proporcionada para facilitar la generación de la malla

[Tipo 1: Barra + Topología cartesiana](#)

[Tipo 2: Elipse + Topología cartesiana](#)

[Tipo 3: Elipse + Topología en C](#)

[Cuestionario](#)

5. [Trabajo final](#)

6. [Bibliografía](#)

3.4 Conclusiones, discusión y valoración global del proyecto. *Se destacarán los puntos fuertes y débiles del proyecto contrastándolas con los resultados de otros estudios referenciados en el apartado 3.1 sin reiterar los datos ya comentados en otros apartados.*

El proyecto de innovación ha propiciado la creación de un grupo de trabajo con profesores del área de Mecánica de Fluidos, con y sin docencia en la asignatura de Aerodinámica. Cada uno de ellos aportó su experiencia para dotar al proyecto de contenidos relevantes que resultasen interesantes a los alumnos y motivasen su participación activa durante las prácticas.

El proyecto de innovación se alineó de acuerdo al plan estratégico de la Universidad de Oviedo.

La elección del tema de trabajo resultó ser un éxito, ya que dotó de continuidad a las prácticas, resultando en una integración total del proyecto de innovación en las actividades de la asignatura.

Las técnicas integradas en el proyecto de innovación fueron elegidas por su gran importancia en el estudio de la aerodinámica de objetos. La impresión 3D ha sido una innovación, que ha sido satisfactoriamente integrada con el resto de técnicas empleadas.



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo

La impresión 3D fue la actividad mejor valorada, seguida de la simulación numérica y de la experimentación. En conjunto, el proyecto se ha considerado un éxito dado el alto grado de aceptación y valoración de los alumnos, de modo que se espera que se continúe esta línea en los siguientes años. Además, se aspira a participar en congresos o realizar publicaciones sobre las actividades realizadas.

La valoración global del proyecto ha sido muy satisfactoria, hecho que se ve reforzado por los resultados de la encuesta de satisfacción.

4 Bibliografía

- [1] Ernst, E. W. (1983). A new role for the undergraduate engineering laboratory, IEEE Transactions on Education, Vol. E-26, no. 2.
- [2] Ford, S and Minshall, T. (2019). Invited review article: Where and how 3D printing is used in teaching and education. Additive Manufacturing, Volume 25, 131 – 150.
- [3] Njock Libii, J. (2011). Wind Tunnels in Engineering Education. Wind Tunnels and Experimental Fluid Dynamics Research, Prof. Jorge Colman Lerner (Ed.), 235 – 260.
- [4] Sert, C. and Nakiboglu, G. (2007). Use of Computational Fluid Dynamics (CFD) in Teaching Fluid Mechanics, American Society for Engineering Education.
- [5] Vicéns-Moltó, J. L., Zamora-Parra, B. (2014). Using CFD as a support tool for the initial study of Hydraulic Turbomachinery. Modelling in Science Education and Learning, Volume 7, 49 – 59.