

# GENERACIÓN DE MODELOS 3D PARA LA VISUALIZACIÓN DEL CAMPO FLUIDO EN SISTEMAS DE PROPULSIÓN Y SU APLICACIÓN EN LA DOCENCIA

J.M. Tizón <sup>1\*</sup>, E. Navarro <sup>2</sup>, G. López <sup>2</sup>, E. Moreno <sup>2</sup>, E. Cabrera <sup>2</sup>, G. Corchero <sup>2</sup>,  
O. Santiago <sup>2</sup>, D. García <sup>2</sup> y D. Marigil <sup>2</sup>

1: Grupo de Innovación Educativa en Propulsión (GIEP)  
Escuela Técnica Superior Ingeniería Aeronáutica y del Espacio  
Universidad Politécnica de Madrid  
e-mail: jm.tizon@upm.es

2: Grupo de Innovación Educativa en Propulsión (GIEP)  
Escuela Técnica Superior Ingeniería Aeronáutica y del Espacio  
Universidad Politécnica de Madrid  
e-mail: emilio.navarro@upm.es, gregorio.lopez@upm.es, efren.moreno@upm.es,  
enrique.cabrera@upm.es, gregorio.corchero@upm.es,  
oscar.santiago.carretero@upm.es, daniel.garcias@alumnos.upm.es,  
d.marigil@alumnos.upm.es

**Resumen.** *El estudio de los sistemas de propulsión necesita una adecuada comprensión de los fenómenos que gobiernan el comportamiento de los fluidos. La situación habitual es aquella en la que es necesario entender y visualizar un campo fluido complejo, difícil de representar adecuadamente con material gráfico convencional. En este trabajo se explora la posibilidad de generar modelo 3D mediante fabricación aditiva que muestre simultáneamente la geometría del elemento y las estructuras que adopta el fluido que la recorre.*

**Palabras clave:** aprendizaje experiencial, aprendizaje informal, competencias transversales, elaboración material docente, objetos 3D, simuladores/laboratorios virtuales.

## 1. Introducción

El estudio de los sistemas de propulsión necesita una adecuada comprensión de los fenómenos que gobiernan el comportamiento de los fluidos. La situación habitual es aquella en la que es necesario entender y visualizar un campo fluido complejo, difícil de representar adecuadamente con material gráfico convencional. Por estos motivos se propone la generación de modelos tridimensionales que pongan de manifiesto las principales características del campo fluido. Para ello se propone la utilización de una impresora 3D para la generación de modelos que incluyan, los elementos del motor de geometría compleja, con características de diseño de interés o imposibles de visualizar y las estructuras fluidas tridimensionales situadas en un contexto geométrico adecuado como, por ejemplo, vórtices, ondas de choque, capas de mezcla o líneas de corriente.

Cada modelo generado constituye un elemento docente estático que debe documentarse mediante la descripción del ensayo o situación a la que corresponde, el fenómeno que se trata de mostrar e información pertinente (origen del fenómeno, influencia en las actuaciones del sistema, métodos de aumentarlo/disminuirlo, etc.) Así mismo, se hace necesaria la preparación de un material que interactúe con el alumno para guiarle en la observación del modelo (mediante enunciados, ordenes o preguntas,

por ejemplo) y un método de evaluar si la fenomenología mostrada ha sido adecuadamente entendida (cuestionario, test, etc.)



**Figura 1:** Proceso de impresión de la pieza.

La temática del proyecto es nueva y, por ello, el carácter de lo que se propone hacer es exploratorio. No obstante, es una continuación natural a cómo han evolucionado las técnicas de presentación de datos experimentales y de simulación numérica en las áreas de ingeniería en general y en mecánica de fluidos en particular. Hace unas décadas los datos se presentaban mediante gráficos 'xy' y líneas de contorno en blanco y negro. Poco a poco, la impresión en color, los sistemas informáticos de representación y las capacidades de cálculo o experimentación han ido proporcionando al investigador (el alumno aprende investigando en muchas ocasiones) herramientas gráficas que le permiten entender y mostrar los resultados de sus experimentos en papel. La continuación natural es la utilización de modelos 3D que presente esos resultados (que en la actualidad suponen enormes cantidades de datos) de una manera directa, intuitiva y rápida.

Finalmente, las lecciones aprendidas pueden ser de aplicación a otras disciplinas puesto que la motivación expresada se puede trasladar a otras áreas científicas (por ejemplo, meteorología, mecánica de sólidos, geología) con sus correspondientes asignaturas y quizás promuevan iniciativas más ambiciosas como el empleo de entornos virtuales para el análisis de resultados de simulación [1].

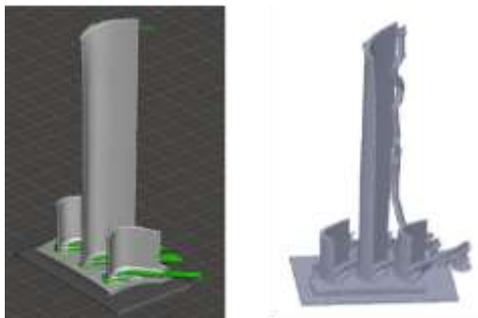
## **2. Desarrollo y estado actual del proyecto**

Las fases que se han seguido a lo largo del desarrollo del proyecto han sido:

1. Definir los problemas de interés a ser abordados. Para ello se han explorados las soluciones numéricas de varios casos de interés en propulsión, de los que finalmente se han seleccionado: una turbina axial de esbeltez alta, un compresor axial transónico y una turbina radial genérica parecida a las que se utilizan en los grupos de sobrealimentación en automoción.
2. Establecer una metodología que permita la generación de modelos 3D, implicando:
  - Generación de datos. Para la generación de datos se emplea el programa de CFD ANSYS-Fluent<sup>®</sup> que se utiliza habitualmente para el análisis numérico de turbomáquinas. Para el post-proceso, después de evaluar varias posibilidades, (por ejemplo, el programa Tecplot<sup>®</sup> que también se trata de una herramienta habitual) se ha optado por utilizar CFD-Post<sup>®</sup> de ANSYS.
  - Formatos de representación y para impresión. Para la impresión de los modelos 3D se emplea el formato STL que está disponible en el post-

proceso del programa de simulación y que es adecuado para la manipulación de modelos 3D, permitiendo realizar una serie de operaciones que resultan fundamentales: replicar geometrías y estructuras fluidas, cortar/enmarcar/delimitar esas estructuras, generar estructura soporte para la impresión 3D y crear estructuras supletorias (por ejemplo, una base de apoyo). Para estas tareas, después de una búsqueda amplia, se selecciona Autodesk Meshmixer© que reúne una serie de cualidades que permite llevar a cabo el trabajo propuesto y, además, es de libre acceso.

3. Configurar una prueba piloto que incluya: uno o varios modelos, la documentación que plantea el problema (guía del profesor) y el material de interacción con el alumno (test, etc.). Se han llevado a cabo las primeras pruebas de impresión 3D como se muestra en la Fig. 1 y Fig. 2 con el caso de la turbina axial. En la actualidad se trabaja en los otros dos elementos propuestos en la primera tarea y ya se dispone de los primeros prototipos para impresión.
4. Evaluar los resultados. Se están llevado a cabo las primeras tareas de evaluación aunque las conclusiones no son definitivas. Se pueden apuntar las siguientes:
  - El proceso de generación de un modelo es laborioso, no hay tareas automatizadas y se necesita la intervención muy directa de un operario experto.
  - Los algoritmos de detección de estructuras fluidas no son fáciles de utilizar. La dispersión de los resultados numéricos no afectan de forma grave a la inspección convencional de los resultados de simulación pero puede hacer impracticable su implementación en un modelo 3D.
  - El acceso a hardware de impresión rápido y barato es un tema no completamente resuelto.



**Figura 2:** Modelo 3D y sistema de soportes de la turbina FUTURE

### 3. Selección de modelos

El primer modelo planteado es un rotor de turbina axial de esbeltez alta, caso representativo de un escalón de turbina de baja presión, desarrollada en el proyecto Future (perteneciente al Séptimo Programa Marco de la Comisión Europea, [www.future-project.eu](http://www.future-project.eu)) con la participación de las principales empresas del sector y la intención de avanzar en el diseño aerodinámico y predicción de flameo en compresores y turbinas (Fig. 2). El segundo modelo propuesto es el compresor axial transónico Rotor 37, diseñado y ensayado por la NASA en los años 1980's, para el apoyo del diseño de aerorreactores más eficientes mediante el empleo de compresores de alta eficiencia y

alta relación de presiones y que exhibe una intensa onda de choque de proa. Este caso experimental se ha convertido en un test clásico para la verificación de códigos de cálculo numérico y resulta un ejemplo muy didáctico dentro de las disciplinas de Turbomáquinas. Finalmente, el tercer modelo se trata de una turbina radial de geometría similar a las utilizadas en los grupos de sobrealimentación de motores de combustión interna porque, aunque la eficiencia del elemento es alta y aparentemente el canal de paso no debería dar lugar a grandes complicaciones en el flujo, resulta que el campo fluido en su interior es muy complicado y difícil de visualizar.

#### **4. Algoritmos de detección**

Se ha llevado a cabo una revisión bibliográfica que permitiera identificar los algoritmos de análisis del campo fluido identificando y describiendo geoméricamente las estructuras fluidas de interés. Las referencias [2], [3] y [4] muestran el estado del arte en este tema.

#### **5. Conclusiones**

El proyecto propone incorporar técnicas avanzadas (impresión 3D) para permitir, mejorar y agilizar la comprensión de los alumnos frente a fenómenos complejos fomentando el uso de nuevas tecnologías, la mejora los recursos didácticos, el incremento de la motivación del alumno y la agilización de los procesos de aprendizaje. Para ello se marcan tres objetivos concretos:

1. Definir los problemas que se pueden estudiar con esta metodología y seleccionar uno para una prueba piloto.
2. Definir la metodología de creación de los modelos 3D. Ello entraña establecer la fuente de datos, definir los formatos informáticos y determinar el hardware.
3. Elaborar la documentación necesaria (tipo, alcance, metodología didáctica, etc.) que permita un uso eficaz de los modelos generados.

Los dos primeros han sido alcanzados con un alto grado de consecución. Sin embargo, los plazos y las dificultades encontradas, y superadas, no han permitido materializar el tercero, que entraña generar una metodología y documentación nueva.

#### **REFERENCIAS**

- [1] Berger, M. y Cristie, V., "CFD Post-processing in Unity3D", *Procedia Computer Science*, Vol. 51, pp. 2913-2922, (2015).
- [2] Lovely, D., y Haines, R., "Shock detection from computational fluid dynamics results", *AIAA Paper 99-3285* 14th Computational Fluid Dynamics Conference. (1999).
- [3] Wu, B., Chen, G. H., Fu, D., Moreland, J., Zhou, C. Q., Guo, L. y Wang, Y. (2010). *Integration of Virtual Reality with Computational Fluid Dynamics for Process Optimization*, CP2017 6th Int. Sym. On Multiphase Flow, Heat Mass Transfer and Energy Conversion, (2010).
- [4] Wu, Z., Xu, Y., Wang, W. y Hu, R., "Review of shock wave detection method in CFD post-processing", *Chinese Journal of Aeronautics*, 26(3), 501–513 (2013).