

# **Aprendizaje experiencial para el estudio de fenómenos termodinámicos en flujo compresible**

A. Meana-Fernández\*, G. Marcos-Robredo, R. Martínez-Pérez, A.J. Gutiérrez-Trashorras  
Área de Máquinas y Motores Térmicos  
Departamento de Energía, Universidad de Oviedo

\*Correspondencia: andresmf@uniovi.es

## **Resumen**

A pesar de que la informática y las nuevas tecnologías permiten la generación de entornos virtuales para la realización de prácticas de laboratorio por parte del estudiantado, el aprendizaje experiencial físico proporciona una serie de ventajas que justifican su adopción para la transmisión de conocimientos al estudiantado. Como complemento a los conocimientos teóricos, permite propiciar una mejora académica y motivacional en el estudiantado, al recrear situaciones que en los libros aparecen de manera estática y limitada. Asimismo, puede contribuir a reforzar la autoestima del estudiantado, desbloqueando el aprendizaje de conceptos al permitirle adquirir conocimientos a través de la experiencia real. En este contexto, dentro del Plan de renovación de laboratorios destinados a prácticas docentes 2022 de la Universidad de Oviedo, se solicitó y fabricó una tobera convergente-divergente para el estudio de fenómenos termodinámicos en flujo compresible por parte del estudiantado. De esta manera, el estudiantado dispuso de un sistema real para realizar sus propias medidas de variables termodinámicas y verificar las ecuaciones vistas en el aula de teoría de manera práctica. En concreto, el dispositivo permite experimentar el comportamiento de la tobera en condiciones subsónicas, así como las condiciones de flujo supersónico y la aparición de ondas de choque, adaptándose a contenidos de diferente dificultad presentes en las asignaturas del Área de Máquinas y Motores Térmicos. Los primeros resultados obtenidos tras la utilización del equipo son prometedores, con el estudiantado mostrando elevados niveles de satisfacción con la experiencia.

*Palabras clave:* aprendizaje experiencial, motivación, prácticas de laboratorio, flujo compresible

## **Aprendizaje experiencial para el estudio de fenómenos termodinámicos en flujo compresible**

### **Abstract**

Even though computer science and new technologies allow the generation of virtual environments for the performance of laboratory practices by students, physical experiential learning provides a series of advantages that justify its adoption for the transmission of knowledge to students. As a complement to theoretical knowledge, it allows students to improve academically and motivationally, by recreating situations that appear in books in a static and limited way. It can also contribute to strengthening self-esteem of students, unlocking the learning of concepts by allowing them to acquire knowledge through real

experience. In this context, within the 2022 Plan for the renovation of laboratories for teaching practices of the University of Oviedo, a convergent-divergent nozzle was designed and manufactured for the study of thermodynamic phenomena in compressible flow by the students. In this way, the students had a real system to make their own measurements of thermodynamic variables and verify the equations seen in the theory classroom in a practical way. Specifically, the device allows you to experience the behavior of the nozzle in subsonic conditions, as well as the conditions of supersonic flow and the appearance of shock waves, adapting to contents of different difficulty present in the subjects of the Area of Thermal Machines and Engines. The first results obtained after the use of the equipment are promising, with the students showing high levels of satisfaction with the experience.

*Keywords: experiential learning, motivation, laboratory sessions, compressible flow*

## **1. JUSTIFICACIÓN DE LA INTERVENCIÓN**

En un contexto marcado por la proliferación de la generación de entornos virtuales para la realización de experiencias de aprendizaje, el aprendizaje experiencial de manera física puede proporcionar una serie de beneficios que justifican su adopción para la transmisión de conocimientos al estudiantado (Kolb, 2015). Como complemento a los conocimientos teóricos, permite propiciar una mejora académica y motivacional en el estudiantado, contribuyendo al desbloqueo cognitivo de conceptos complicados al proporcionar una experiencia real en el mundo físico (Buar, 2022). Esto, además de contribuir a la consolidación del conocimiento, permite reforzar la autoestima del estudiantado.

Dentro de la rama de las Enseñanzas Técnicas, el aprendizaje experiencial se encuentra notablemente alineado con la pedagogía de la Ingeniería (Woodcock et al., 2021). Además, el uso de diferentes tecnologías, como la impresión 3D, están transformando la educación en Ingeniería (Hernández-de-Menéndez, Escobar Díaz y Morales-Menéndez, 2020). La inclusión de estas tecnologías en el aula permite ayudar al estudiantado a adquirir conocimiento técnico, así como a desarrollar las competencias necesarias para su futuro desempeño profesional.

Por este motivo, dentro del Plan de renovación de laboratorios destinados a prácticas docentes de la Universidad de Oviedo del año 2022 (Universidad de Oviedo, 2022), se solicitó financiación para construir un banco de ensayos consistente en una tobera convergente-divergente. La finalidad fue la realización de medidas de variables termodinámicas por parte del estudiantado, de manera que pudiera verificar las ecuaciones para flujo compresible vistas en el aula de manera práctica.

## **2. CONCEPTOS FÍSICOS NECESARIOS**

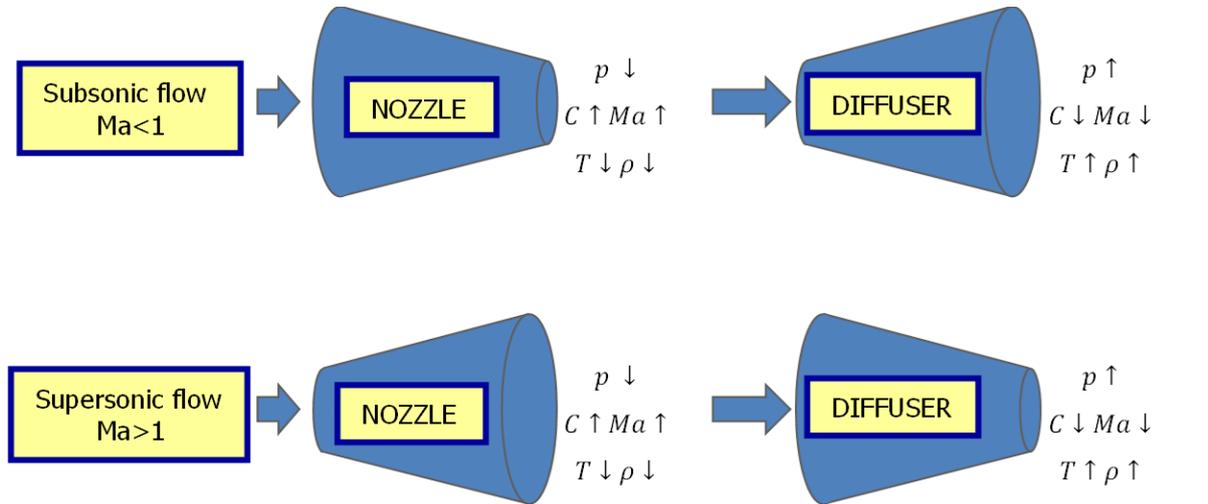
Los conceptos físicos relacionados con el flujo compresible son de relativa dificultad, distinguiéndose el flujo entre subsónico, supersónico y pudiendo producirse ondas de choque cuando las condiciones del flujo son inestables. Definiendo el número de Mach ( $Ma$ ) como la relación entre la velocidad del flujo y la velocidad del sonido en un medio (Ames y Tang, 2021), el flujo puede dividirse en incompresible ( $Ma < 0,3$ ), subsónico ( $0,3 < Ma < 0,8$ ), transónico ( $0,8 < Ma < 1,2$ ), supersónico ( $1,2 < Ma < 3,0$ ) e hipersónico ( $Ma > 3$ ). Los conductos de sección variable se distinguen como toberas o difusores en función de que aceleren o frenen el flujo, pero su forma depende del tipo de flujo que los atraviese. En flujo subsónico, una tobera tiene una sección decreciente y un difusor una sección creciente, pero cuando el flujo se convierte en supersónico ( $Ma > 1$ ), los papeles se invierten, como se puede observar en la Figura 1. Por lo tanto, si se pretende diseñar una tobera que sea capaz de acelerar siempre el flujo, su forma deberá ser convergente hasta alcanzar el estado sónico ( $Ma=1$ ) para pasar a ser divergente a continuación. Esto genera la aparición de una garganta o zona de sección mínima, que puede provocar un bloqueo del flujo si tiende a acelerarse demasiado. Se dice entonces que la tobera, a través de la cual circula la mayor cantidad posible de flujo, está estrangulada. Como puede comprobarse, se trata de conceptos avanzados de Termodinámica y Mecánica de Fluidos que no son sencillos de comprender tras su primera explicación de manera teórica. Por motivos de brevedad y por ajuste a la temática de la contribución, se ha optado por no incluir las ecuaciones físicas del fenómeno.

### 3. OBJETIVO DE LA INTERVENCIÓN

El objetivo principal de esta intervención es proporcionar al estudiantado una experiencia real que le permita afianzar el aprendizaje de los conceptos teóricos y los fenómenos introducidos en el aula relacionados con el flujo compresible. Para ello, se diseñó y construyó un banco de ensayos de una tobera convergente-divergente.

**Figura 1**

*Diferencias entre tobera y difusor para flujo subsónico y supersónico*

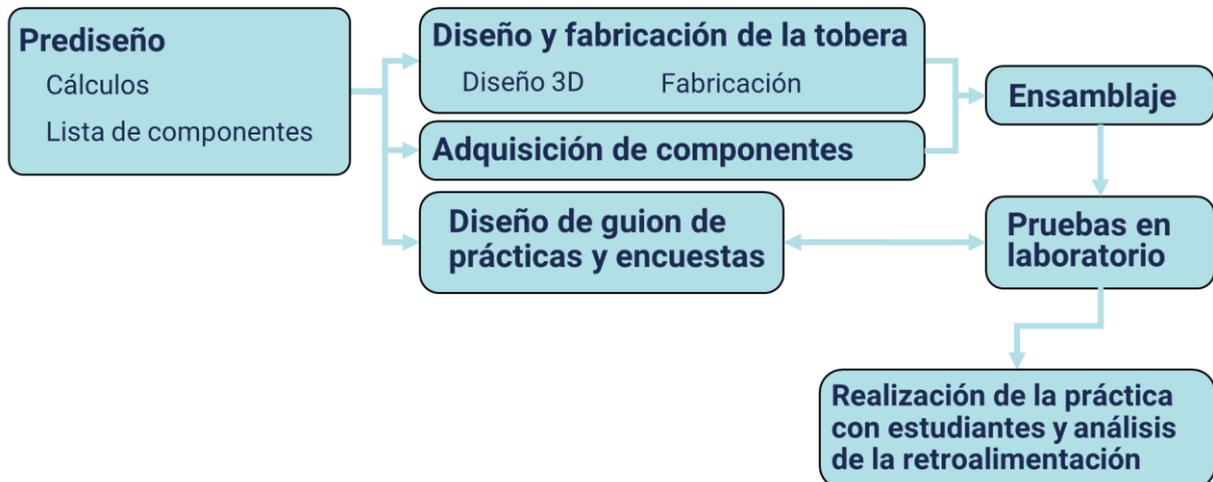


### 4. DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA

Para desarrollar e implementar la propuesta, se siguieron los pasos recogidos en el esquema de la Figura 2. Después de una fase de prediseño, en la que se realizaron los cálculos necesarios para diseñar la tobera y se generó una lista de todos los componentes necesarios para construir el banco de ensayos, se pasó a la fase de diseño de la tobera (en 3D) y su fabricación mediante técnicas de fabricación aditiva en aluminio. El motivo de emplear la fabricación aditiva, además de su reducido coste en comparación con otras tecnologías, fue que permitía reproducir fielmente la geometría y los conductos internos de la tobera y de las tomas de presión de manera más sencilla que otros procesos de fabricación. Paralelamente, se adquirieron el resto de los componentes para el banco de ensayos y se diseñó el guion de prácticas y las encuestas que se realizaron al estudiantado.

**Figura 2**

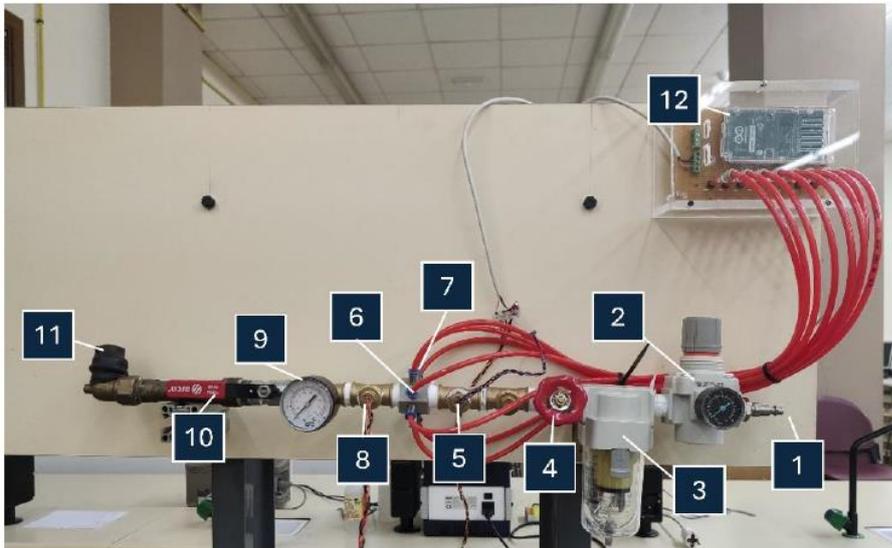
*Desarrollo e implementación de la propuesta*



Una vez que tanto la tobera como los componentes estuvieron a disposición del equipo, se procedió a su ensamblaje y a la realización de pruebas en el laboratorio del Área de Máquinas y Motores Térmicos de la Universidad de Oviedo. Tras comprobar que el banco de ensayos funcionaba correctamente, se realizó la experiencia con el estudiantado, recogiendo y analizando su retroalimentación acerca de la práctica. En la Figura 3 se puede observar el aspecto final del banco de prácticas. Cabe destacar que el coste de todo el equipamiento no superó los 2500 €.

### Figura 3

Aspecto final del banco de ensayos

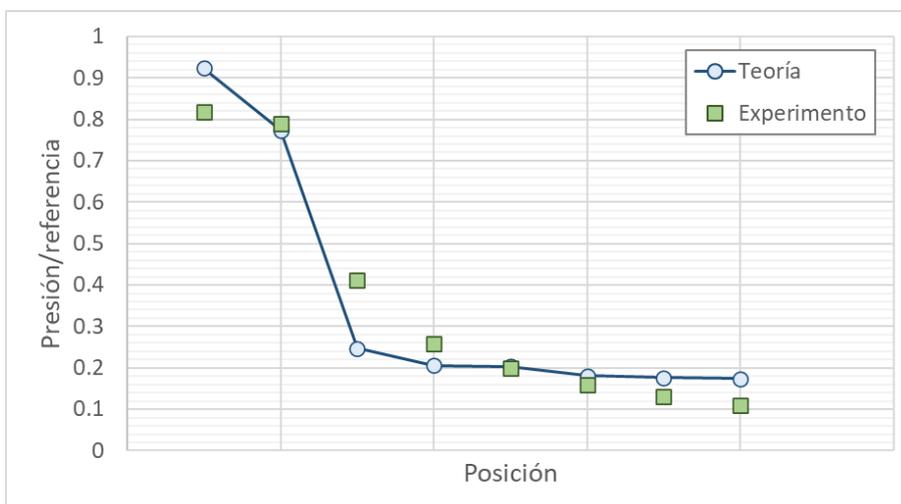


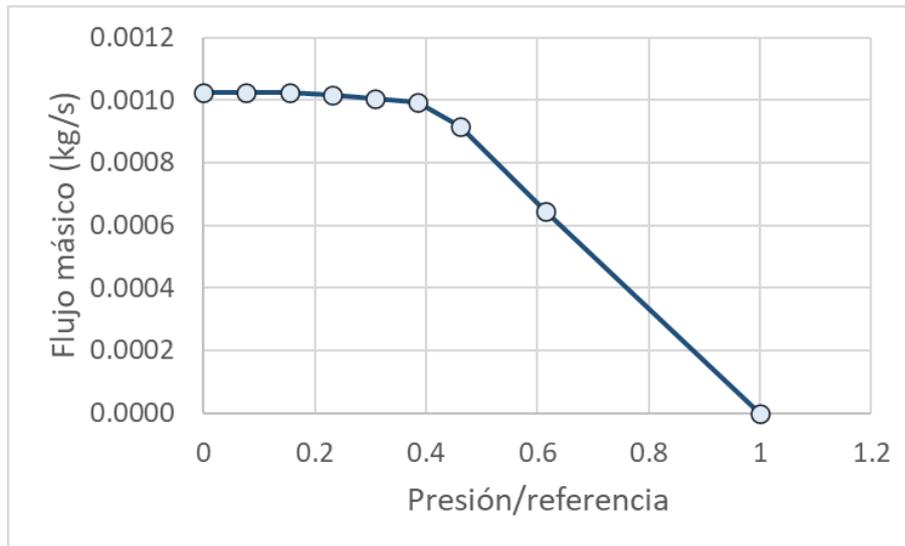
## 5. RESULTADOS

Los resultados obtenidos muestran un buen ajuste entre la teoría y los resultados del experimento, como se puede observar en las Figuras 4 y 5. La evolución de las presiones a lo largo de la tobera, recogida en la Figura 4, sigue aceptablemente los valores obtenidos a partir de las ecuaciones de teoría de flujo compresible. Asimismo, el estudiantado pudo verificar la aparición de flujo estrangulado en la tobera, como se muestra en la Figura 5, en la que se aprecia ese límite máximo de flujo másico.

### Figura 4

Evolución de las presiones a lo largo de la tobera



**Figura 5***Verificación del estrangulamiento en la tobera*

Finalmente, cabe destacar que la retroalimentación recibida por parte del estudiantado fue muy positiva, como se puede observar en los resultados recogidos en la Tabla 1.

**Tabla 1***Retroalimentación recibida por parte del estudiantado*

	<b>Media</b>	<b>Desv. típica</b>
Me gustó la sesión de laboratorio	8,00	1,41
He aprendido los principios de funcionamiento de una tobera	8,33	0,52
He aprendido más que si realizara una práctica de ordenador	8,33	1,17
Me gusto más esta sesión que realizar una práctica de ordenador	8,00	1,41
Creo que la sesión de laboratorio debería repetirse en cursos venideros	9,17	0,98

## 6. CONCLUSIONES

Las principales conclusiones de este trabajo pueden resumirse en los siguientes apartados:

- Se ha diseñado un banco de ensayos de prácticas de una tobera convergente-divergente que permite al estudiantado experimentar en la vida real los fenómenos y las ecuaciones teóricas vistas en clase.
- Los resultados experimentales verifican los conceptos e hipótesis explicadas en el aula.
- El estudiantado muestra un nivel de satisfacción elevado y aumenta su auto percepción del aprendizaje realizado.
- El presupuesto total del equipo no supera los 2500 €.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo del proyecto “FORMATIC – Potenciación de la evaluación formativa en enseñanzas técnicas mediante el empleo de las TIC – 124530”, financiado por la Universidad de Oviedo a través del programa “Ayudas para el desarrollo de proyectos de innovación docente (2022-2023) en concurrencia competitiva”, así como del Plan de renovación de laboratorios destinados a prácticas docentes en los Departamentos y Centros de la Universidad de Oviedo en su convocatoria 2022.

## REFERENCIAS

- Ames, F.E., y Tang, C. (2021). *An Introduction to Compressible Flow*. CRC Press.
- Buar, C.L. (2022). A Phenomenological Study on the Lived Experiences of Physics Students in Laboratory Classes. *Universal Journal of Educational Research*, 1(2),10-18.
- Hernandez-de-Menendez, M., Escobar Díaz, C. y Morales-Menendez, R. (2020). Technologies for the future of learning: state of the art. *Int J Interact Des Manuf* 14, 683–695
- Kolb, D.A. (2015). *Experiential learning*. Pearson Education.
- Universidad de Oviedo. (2022). *Resolución de 31 de marzo de 2022, de la Vicerrectora de Sostenibilidad, Movilidad y Medio Ambiente, por la que se aprueba la convocatoria del Plan de renovación de laboratorios destinados a prácticas docentes en los Departamentos y Centros de la Universidad de Oviedo y se determinan los criterios de valoración, así como las instrucciones para la tramitación de los gastos de inversión*.
- Woodcock, C. S. E., Callewaert, J., y Millunchick, J. (2021). Synthesizing definitions of professional competencies linked to experiential learning in engineering education: A literature review. *Journal of Higher Education Theory and Practice*, 21(4), 123-146.