

# MEJORA Y DIVERSIFICACIÓN DE LAS FUNCIONALIDADES DE SIMULACIÓN DE UN LABORATORIO VIRTUAL PARA SU APLICACIÓN DENTRO Y FUERA DEL AULA

Juan Manuel Tizón Pulido <sup>1\*</sup>, Emilio Navarro Arévalo <sup>2</sup>, Efrén Moreno Benavides <sup>2</sup>, Gregorio López Juste <sup>2</sup> y Oscar Santiago Carretero <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, efren.moreno@upm.es, gregorio.lopez@upm.es,  
oscar.santiago.carretero@upm.es

**Resumen.** *Dada la dificultad de disponer de un laboratorio de ensayo de motores cohete real para su utilización en la docencia, se ha procedido a desarrollar un Laboratorio Virtual que simula el ensayo de motores cohete de propulsante sólido. El Laboratorio Virtual está concebido como un medio para proporcionar a los alumnos el acceso a una experiencia que no tienen en el ambiente académico debido a la peligrosidad y alto costo que entraña el ensayo de estos sistemas. El laboratorio se ha desarrollado en el entorno OpenSimulator y el modelo matemático, similar al utilizado en las tareas de diseño preliminar de estos motores, se ha implementado en los lenguajes PHP y MySQL, estableciéndose la comunicación con el entorno virtual mediante llamadas web.*

**Palabras clave:** Laboratorio virtual, realidad virtual, motores cohete, elaboración material docente, utilización de las TIC's.

## 1. Introducción

El Espacio Europeo de Enseñanza Superior (EEES) ha impulsado la aplicación de las tecnologías de la información y comunicación (TIC) como nuevos métodos y técnicas de enseñanza-aprendizaje. Tradicionalmente, la enseñanza en ingeniería ha utilizado las prácticas de laboratorio para lograr acercar al alumno al mundo real, aplicando los conocimientos teóricos a la práctica. Recientemente se han empezado a utilizar entornos de realidad virtual para recrear las actividades que los alumnos llevan a cabo en los laboratorios universitarios.

Los motores cohete son un sistema de ingeniería complejo, compuesto por un gran número de elementos y donde sus actuaciones dependen entre otros factores de las condiciones ambientales en el ensayo, de las sustancias empleadas, de la geometría de los elementos y de aspectos menos predecibles, como tolerancias de fabricación, el envejecimiento del propulsante o de la morfología y cadena de medida del banco de ensayos.

En el caso de los motores cohete las instalaciones experimentales necesarias, la instrumentación empleada y los propios motores tienen un elevado coste económico

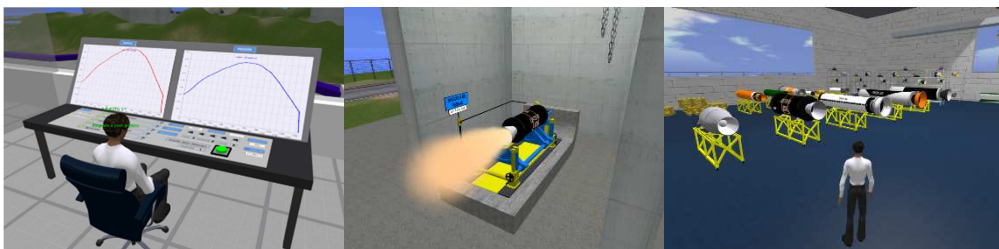
que solo se puede abordar en un escenario industrial, sin olvidar un tema fundamental como es la seguridad. Todos los propulsores sólidos empleados en este tipo de motores son o se comportan como explosivos. Las medidas de seguridad en estas instalaciones condicionan todos sus aspectos relevantes y esta razón es la más poderosa a la hora de vetar este tipo de experiencias en las instalaciones universitarias. Es aquí donde puede jugar un papel importante la utilización de un laboratorio virtual de ensayo de motores cohete.

En este trabajo se ha desarrollado un laboratorio virtual para el ensayo de motores cohete en el que el alumno puede ensayar diferentes tipos y tamaños de motor. En los modelos utilizados para simular las actuaciones de los motores cohete se han introducido incertidumbres en algunas de las variables de modo que los resultados de dos ensayos consecutivos de una misma configuración de motor no serán totalmente idénticos, dando mayor realismo a los ensayos.

## 2. Estado actual

El Laboratorio Virtual de Ensayo de Motores Cohete de Propulsante Sólido pertenece a la plataforma GridLabUPM (<https://3dlabs.upm.es/>) que es una iniciativa que nace en 2011 como resultado de los trabajos de Proyectos de Innovación Educativa de la Universidad Politécnica de Madrid [1] y que es gestionada por el Gabinete de Tele-Educación (GATE) desde el 2013.

La región del Laboratorio Virtual de Ensayo de Motores Cohete de Propulsante Sólido está formada por tres instalaciones: un edificio principal, un almacén y una zona de ensayo [3]. La actividad del alumno se centra en esa última zona, formada por las bancadas de ensayo, la instrumentación y el puesto de control y toma de medida, y los motores a ensayar (Fig. 1). Como se trata de elementos a ensayar muy singulares y se pretende dar un aspecto de realidad se opta por construir un entorno virtual parecido a una instalación auténtica.



**Figura 1.** Imágenes del Laboratorio Virtual.

Para la zona de ensayos se ha simulado las instalaciones de ensayo de cohetes del Instituto Tecnológico de la Marañosa que es un organismo de investigación, desarrollo tecnológico e innovación (I+D+i), perteneciente al Ministerio de Defensa de España a través del INTA. En estas instalaciones los motores se ensayan a cielo abierto en bancadas cercadas por gruesos muros de hormigón. Los puestos de control y ensayo se encuentran debidamente protegidos detrás de los muros y toda el área está diseñada bajo criterios de extrema seguridad.

El laboratorio se pretende utilizar en la docencia de las asignaturas de Motor Cohete de las titulaciones de Grado en Ingeniería Aeroespacial y Master Universitario

en Ingeniería Aeronáutica que se imparten en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeronáutica y del Espacio en la Universidad Politécnica de Madrid.

### **3. Desarrollo del proyecto**

En trabajos previos se había desarrollado un Laboratorio Virtual (LV) de Ensayos de Motores Cohete de Propulsante sólido, impulsado por el GATE, que recrea el escenario adecuado en el que los alumnos pueden llevar a cabo ensayos con este tipo de motores. Finalizada esa primera etapa de desarrollo, el Laboratorio Virtual se encontraba operativo, pero con una funcionalidad básica, pudiendo seleccionar un motor de entre un grupo, proceder a su ensayo en banco y descargar los resultados de ensayo.

Sin embargo, las posibilidades de simulación son mucho más amplias y atractivas, por lo que se propuso mejorar el laboratorio virtual involucrando al alumno en tareas de diseño, componiendo un motor seleccionando sus elementos principales de entre un catálogo, pudiendo hacer ensayos con motor aclimatado, permitiendo que el alumno incorpore datos sobre un motor concebido de forma externa al laboratorio y, finalmente, pudiendo incorporar en la actividad posterior al ensayo la consulta de procedimientos de análisis estándar utilizados por los organismos y la industria involucrada.

Además, dado que los ensayos de los motores cohete que se realizan en bancos reales tienen lugar en un entorno con condiciones atmosféricas cambiantes, con motores fabricados bajo ciertos márgenes de repetitividad y en una diversidad de situaciones locales diversas (tipo de banco, cadena de medida, etc.), los resultados de los ensayos reales tienen un nivel de repetitividad limitado por la existencia de condiciones objetivas cambiantes y, también, cierto nivel de incertidumbre de origen de difícil identificación. Todo esto lleva a que conseguir un entorno virtual, que proporcione datos de ensayo realistas, exige un esfuerzo de simulación de cierta magnitud [2] que hay que incorporar al Laboratorio Virtual y que este sea capaz de soportar.

En vista de lo anteriormente expuesto, en el trabajo se ha marcado como objetivo el ampliar, mejorar y verificar el soporte de cálculo del LV:

- Elaborando el soporte técnico necesario para que el entorno virtual proporcione datos de ensayo precisos, realistas y diversificados.
- Desarrollando nuevas capacidades del Laboratorio Virtual.
- Construyendo la secuencia de actividades de una batería de Prácticas de Laboratorio.

Todo ello con la finalidad de lograr:

1. Que el profesor pueda mejorar su labor docente al disponer de una herramienta que le permita simular el comportamiento real de los motores cohete de propulsante sólido.

2. Que el alumno pueda disponer de esta herramienta para su uso fuera del aula, permitiéndole volver a repetir los casos vistos en las clases presenciales u otros casos nuevos, así como organizar su aprendizaje según sus necesidades temporales.

3. Que el alumno intervenga de forma activa en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

4. Que el alumno logre objetivos cognoscitivos como es conocer y analizar la influencia de los parámetros de diseño y operación de un motor cohete.

#### **4. Conclusiones**

El Laboratorio Virtual para el Ensayo de Motores Cohete de Propulsante Sólido pertenece al GridLabUPM de la Universidad Politécnica de Madrid. Su desarrollo y mantenimiento se lleva a cabo por el Gabinete de TeleEducación (GATE) de la universidad que es un servicio de apoyo a la utilización de las TIC en la docencia.

El Laboratorio Virtual está construido con una arquitectura cliente-servidor, mediante el software de código abierto OpenSimulator que gestiona los mundos virtuales 3D y de una aplicación cliente, que se utiliza como visor.

El Laboratorio Virtual de Ensayo de motores cohete de propulsante sólido ofrece al docente la posibilidad de mostrar a los estudiantes como se llevan a cabo estas experiencias en el mundo real e instruirlos en las actividades de análisis y diseño que el uso de estas instalaciones requiere. Para ello, ha sido fundamental que los datos obtenidos del ensayo virtual sean realistas y, además, que el alumno así lo perciba, para lo que ha sido necesario implementar un modelo matemático suficientemente complejo para obtener el comportamiento del motor e incorporar un cierto nivel de incertidumbre en algunas variables.

#### **Agradecimientos**

Los autores agradecen a la Universidad Politécnica de Madrid la financiación de este proyecto, realizado a través de la convocatoria 2016 de “Ayudas a la innovación educativa y a la mejora de la calidad de la enseñanza”, así como al personal del Gabinete de Tele-Educación de la UPM (GATE) por su colaboración.

#### **REFERENCIAS**

- [1] Berrocal-Lobo, M., Carpeño, A., De Antonio, A., Fernández, C., Ramírez, J., Recio, B., & Torralba, R. (2011). PEIA-UPM: Plataforma Experimental para Estudios en Ingeniería y Arquitectura de la UPM. In *Primer Congreso Internacional sobre Aprendizaje, Innovación y Competitividad (CINAIC 2011). Libro de actas del congreso (ISBN: 978-84-96398-50-4). Pag (pp. 411-416).*
- [2] Juan M. Tizón Pulido, Arturo Formariz Pombo, José C. Salazar Calderón, Daniel Contreras Masedo, Emilio Navarro Arévalo (2017). Realismo en el modelo físico-matemático del Laboratorio Virtual para el Ensayo de Motores Cohete, *25 Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas (25 CUIEET). Libro de actas del congreso.*
- [3] Daniel Contreras Masedo, Arturo Formariz Pombo, Juan M. Tizón Pulido, José C. Salazar Calderón, Emilio Navarro Arévalo (2017). Desarrollo de un Laboratorio Virtual para el Ensayo de Motores Cohete, *25 Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas (25 CUIEET). Libro de actas del congreso.*