



# VNiVERSiDAD D SALAMANCA

CURSO 2010-11

## PROYECTO DE INNOVACIÓN DOCENTE

Simulación con Mathematica del comportamiento de los  
ciclos Termodinámicos que realiza el aire en  
motores empleados en Aviación.

# INFORME FINAL DE EJECUCIÓN

María Teresa de Bustos Muñoz  
Antonio Fernández Martínez  
Juan-Ramón Muñoz Rico

## **ÁMBITO DE ACTUACIÓN.**

---

En el transcurso del curso 2010-2011 se ha desarrollado el programa para el que se solicitaba la ayuda y se a empleado en las clases de las Asignaturas que se relacionan a continuación, por Titulaciones:

*Ingeniero Técnico Mecánico.*

- Ingeniería Térmica II.
- Termotecnia.

*Grado de Ingeniería Mecánica.*

- Ingeniería Térmica II.

*Título Propio:*

*Especialista Universitario en Aviación Comercial · Piloto de Transporte de Línea Aérea.*

- Fundamentos Matemáticos I
- Fundamentos Matemáticos II
- Termodinámica para Pilotos
- Conocimiento general de aeronaves · Sistemas
- Performance

El desarrollo se ha distribuido a los alumnos a través de la página Web del Área de Máquinas y Motores Térmicos del Departamento de Ingeniería Mecánica.

Ha sido muy bien recibido por los alumnos quienes en un principio se han mostrado escépticos para luego adoptar una actitud completamente positiva, aportando incluso sugerencias de mejora, de las que se ha tomado nota.

## **BENEFICIOS OBTENIDOS.**

---

Cabe destacar la especial aceptación del desarrollo por parte de los alumnos del Título Propio “Especialista Universitario en Aviación Comercial · Piloto de transporte de Línea Aérea”, que conociendo el funcionamiento de los motores basados en turbina de gas, desconocían sus fundamentos. Aunque en cursos anteriores se habló en las clases de Termodinámica para Pilotos de ellos, la utilización de la herramienta informática ha permitido hacer ver, sin tener que recurrir necesariamente siempre a complejos desarrollos matemáticos, que el comportamiento global del motor responde a los principios de la Termodinámica.

Se han hecho problemas a partir de los datos de motores obtenidos de las páginas Web de los fabricantes como son Rolls Royce, Pratt and Whitney, etc., obteniéndose con el desarrollo en Mathematica unos resultados acordes con las especificaciones de los fabricantes, tanto de potencia, empuje, torque y datos de presiones y temperaturas en cada estado característico de motor.

También se han cotejado los resultados obtenidos a partir del desarrollo en Mathematica con los parámetros de motor del avión Beechcraft C90, utilizado por la Escuela de Pilotos, propulsado con un motor de turbohélice, dando un buen acuerdo entre ambos.

Por su parte, los Ingenieros Mecánicos también han mostrado un gran interés por el desarrollo realizado, haciendo también matizaciones y sugerencias a tener en cuenta en próximas revisiones.

De la misma forma, se han cotejado los resultados obtenidos a partir del desarrollo en Mathematica con los parámetros reales de motores térmicos de pistón Otto y Diesel

---

empleados en Automoción y Motociclismo, dando un buen nivel de acuerdo con ellos.

## **PROPUESTAS DE MEJORA.**

---

Así, recogiendo las sugerencias de unos y otros, cabe pensar en un futuro desarrollo ya a nivel Multimedia, en el que se podría pensar en que la actuación del usuario con el ratón o bien sobre la pantalla táctil o pizarra digital fuese similar a la del Operador de Turbina/Conductor/Piloto sobre el motor térmico en cuestión, ya sea de turbina o de pistón. Por ejemplo: cualquier conductor sabe que su actuación sobre el motor se limita únicamente a pisar más o menos el acelerador. Cualquier conductor sabe, también, que pisando el acelerador su coche corre más y soltándolo, corre menos. Pero... ¿cómo ocurre todo esto? No es intuitivo, aunque la costumbre de hacerlo nos haya llevado a pensar que sí. Del mismo modo, cuando un Piloto u Operador de Turbina acciona la palanca de combustible, el motor produce más potencia o empuja más. ¿Y cómo ocurre esto? Pues tampoco es intuitivo.

Para la realización del desarrollo se ha considerado el modelo de gas perfecto, por su simplicidad matemática. Para el transcurso del aire por cada uno de los procesos de cada ciclo se ha supuesto aire seco y se ha despreciado en todo momento tanto el contenido en humedad como las aportaciones energéticas del combustible, no siendo las correspondientes a su Poder Calorífico Inferior. En una futura versión se piensa en la consideración de la variabilidad de los calores específicos con la temperatura (mediante la utilización del modelo de gas ideal), la consideración del vapor de agua como un componente más del aire (húmedo, por tanto), las peculiaridades de la reacción de combustión (en la medida que pueden ser predecidas por las ecuaciones que gobiernan este tipo de procesos) y las aportaciones energéticas del combustible, además de la correspondiente a su Poder Calorífico Inferior.

La idea de desarrollos futuros se encuentra en la Multimedia y en el entorno Web. Se trataría de hacer un programa multimedia ejecutable en un entorno Web, que siendo visualmente atractivo no perdiese el rigor científico que persigue, y en el que el usuario pudiese interactuar de la misma forma que lo haría si fuese un Conductor, Operador de Turbina o Piloto, visualizando lo que ocurre en cada uno de los procesos termodinámicos que componen cada uno de los ciclos en los que se basa cada tipo de motor. También de esta forma se podrían desarrollar problemas de diseño, con sus correspondientes “contradicciones”, haciendo partícipes a los alumnos de las dificultades con que habitualmente se encuentra la Ingeniería.

## **EQUIPO.**

---

El equipo de profesores que hemos participado en el desarrollo está compuesto por:

|                              |      |                     |                 |
|------------------------------|------|---------------------|-----------------|
| Juan-Ramón Muñoz Rico        | PTEU | Ingeniería Mecánica | rico@usal.es    |
| María Teresa de Bustos Muñoz | PTEU | Matemática Aplicada | tbustos@usal.es |
| Antonio Fernández Martínez   | PTU  | Matemática Aplicada | anton@usal.es   |

La transferencia de información entre el equipo ha sido constante. No han sido necesarias reuniones presenciales, ya que éstas han sido realizadas a través de videoconferencia (Skype). No obstante, la coincidencia personal en alguno de los Centros en los que impartimos docencia ha sido aprovechada para comentar la evolución de los trabajos.

Los documentos generados han sido intercambiados a través del Servidor FTP del Departamento de Ingeniería Mecánica.

La empatía y la compenetración del equipo de trabajo han sido inmejorables, desarrollándose el Plan de Trabajo con arreglo a lo previsto.

Zamora, a 28 de Junio de 2011.

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized 'J' followed by 'R' and 'M', with a horizontal line extending to the right.

Fdo: Juan-Ramón Muñoz Rico.