



VNIVERSIDAD  
D SALAMANCA

Vicerrectorado de Docencia y Convergencia Europea

AYUDAS DE LA UNIVERSIDAD DE SALAMANCA PARA  
LA INNOVACIÓN DOCENTE

# MEMORIA

LABORATORIO MULTIMEDIA DE  
MÁQUINAS Y MOTORES TÉRMICOS:  
MOTORES DE GAS.

Juan-Ramón Muñoz Rico

**El Proyecto de Innovación comenzado el año pasado y al que se refiere la presente Memoria ha pasado por diferentes etapas.**

**La inicial, lo que desencadena el comienzo, es el hecho señalado por algunos alumnos que todos los profesores, quien más, quien menos, hemos sufrido en alguna ocasión. Me estoy refiriendo al típico comentario que se hace con no poca soltura y no menos frecuencia y que entre los alumnos goza de un éxito inusitado:**

***“Esto realmente no sirve para nada”.***

**En casi ninguna ocasión este comentario es acertado y casi siempre proviene de la miopía mental de quien lo hace. Sin embargo hay otras, pocas, pero las hay, en las que nos debe hacer recapacitar y aprender.**

**Nada más lejos. Todo lo que enseñamos en la Universidad sirve y una de nuestras ocupaciones debe ser demostrar que efectivamente sirve, se utiliza y para qué se utiliza. En lo referente al Proyecto de Innovación solicitado, el estudio de los ciclos termodinámicos de potencia con gas resulta especialmente hostil cuando tan solo se presentan éstos como meras aplicaciones de lo que es la teoría de la Termodinámica, en la utilización conjunta tanto de Primer como de Segundo Principio.**

**En la pizarra, con cualquier medio estático (aunque sea PowerPoint), o incluso mediante la visualización de películas, el docente puede presentar casos, resolver problemas, pero resulta tremendamente difícil involucrar varias variables y observar de inmediato los resultados a que afecta dicha variabilidad. Así, algunos alumnos no dejaban de tener razón cuando afirmaban, con rotundidad, la frase antes enunciada. Como es sabido que no es cierta y, de hecho, todos los fabricantes de motores así lo corroboran y todas las llamadas “centralitas” en cada motor de nuestros coches se programan y trabajan con estos parámetros, había que encontrar la utilización de todo lo dicho en clase. Es así como empiezo a elaborar este Proyecto.**

**Empleando la herramienta de diseño y programación “Macromedia Director”, me puse manos a la obra e hice, para empezar, varias hipótesis simplificadoras: la primera de ellas es la referida al comportamiento del gas al pasar por el motor. En todo momento he supuesto que el aire responde a la Ecuación de Estado de Gas Ideal (lo que es cierto con un margen de error de unas centésimas por ciento, lo que se puede comprobar una vez encontrados los valores del Factor de Compresibilidad en los estados habituales por los que pasa el aire en cualquier motor térmico).**

**También he supuesto que el aire tiene Calores Específicos constantes, lo que en Termodinámica se llama, una vez se cumple la Ecuación de Estado de Gas Ideal, Gas Perfecto. Esta hipótesis es menos real que la anterior porque los calores específicos de las sustancias en condiciones de comportamiento de Gas Ideal dependen de la temperatura. Sin embargo, la he mantenido en beneficio de la rapidez de cálculo (los ordenadores actuales son muy rápidos pero no hemos de olvidarnos de que una grandísima parte de su capacidad de cálculo y evolución del hardware es en el sentido del autoconsumo en sus sistemas operativos y sus cosas...) y del realismo del programa.**

**A partir de estas hipótesis simplificadoras, programé las partes de motores volumétricos y de turbina. La primera la he dedicado por completo a los motores alternativos (de pistón), obviando por el momento el motor rotativo de Wankel. Los ciclos referenciados son el de Otto y el de Diesel. La segunda la he dedicado a los motores de Aviación, dejando para futuras revisiones los motores de turbina de gas destinados a la producción de energía eléctrica. Dentro de esta segunda parte, los motores incluidos son el turborreactor puro, el turbohélice y el turbofán. En esta segunda parte, el ciclo termodinámico de referencia es, como es sabido, el ciclo de Brayton.**

**Pues bien: estando ya en fase de diseño, surgió el interés de dos alumnos de la Escuela Politécnica Superior de Zamora por realizar un Trabajo Fin de Carrera con un motor de ciclo Otto, de un Alfa Romeo 75 (con unos añitos ya, pero muy fiable y didáctico), del que se disponía en el Laboratorio de Termodinámica e Ingeniería Térmica de dicha Escuela. Se trataba de acoplar un indicador de ciclo, también disponible, a dicho motor de tal forma que permitiese la obtención del llamado Ciclo Indicado (diagrama presión-volumen) del aire al pasar por el interior de uno de los cuatro cilindros del motor.**

**Este trabajo ya se había desarrollado con anterioridad en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Béjar, pero el resultado había sido visualizado en un simple osciloscopio de tubo de rayos catódicos, lo que impedía el manejo posterior de datos y su tratamiento informático. Para este fin, se compró con cargo al área (al Departamento, al fin y al cabo) un osciloscopio digital sin pantalla, que se puede conectar al ordenador por un puerto USB de tal forma que es la pantalla del ordenador la que visualiza pequeños tramos vectoriales en función de intensidad de la señal recibida del osciloscopio, que se puede regular y programar. Señalo este hecho porque es relevante en lo que voy a decir a continuación y en la evolución del Proyecto de Innovación.**

Estos alumnos tuvieron que preparar el motor prácticamente desde cero, incluso llegando a tener que hacer reparaciones puntuales de no poca enjundia (tuvieron que recuperar, por ejemplo una transmisión hacia un freno que aún quedaba por montar). Una vez tuvieron dispuesto el indicador, tuvieron que calibrarlo ingeniándose las con muy pocos medios, lo que a los alumnos, en general, hace rabiar un poco pero que en una Escuela de Ingenieros es justamente lo que se persigue en algunos casos. Una vez calibrado, empezaron a ensayar ya sobre el motor.

El primer problema que tuvieron me llevó a detectar que aunque habían comprendido la teoría y habían resuelto sus exámenes satisfactoriamente, no eran capaces de relacionar algunos conceptos con la práctica del laboratorio y menos aún con el funcionamiento del motor. La realidad les confundía. Esto me llevó a pensar que haciendo algunas modificaciones en el programa y aún falto de un diseño gráfico atractivo, ellos serían capaces de razonar de forma que jamás olvidarían. Y así lo hice.

Donde había programado “cajas” en las que el usuario simplemente introducía un valor, las sustituí por barras de deslizamiento con cajas en las que el usuario escribe los valores extremos de un intervalo. Así, con la barra de deslizamiento se varían los valores del parámetro que se quiere modificar dentro del intervalo indicado por el usuario. Para entenderlo con facilidad: cualquiera que conduzca coches sabe que cuando pisa el acelerador hace que aumente la cantidad de combustible que entra en el interior de cada cilindro del motor. Esto es así y así es justamente como funciona el programa.

El consumo es una de las variables en las que el usuario puede actuar, pero existen todo un abanico de ellas. Los alumnos comenzaron los ensayos de aceleración sin carga, sin freno de motor, y observaron que la presión en el interior del cilindro apenas variaba. La pregunta fue inmediata: *¿cómo es posible que la presión apenas varíe si le estamos acelerando?* Su respuesta y su razonamiento también fueron casi inmediatos y absolutamente esperados: *“el indicador de ciclo está mal (¿lo habremos roto nosotros? ¡Glup!), todo está roto en esta Escuela, nada funciona en la Universidad...”* en fin, razonamientos típicos.

Pues bien: con el programa pudieron ver cómo efectivamente si se aumenta la alimentación pero también aumenta la velocidad, la presión en el interior de cada cilindro del motor apenas varía. Aunque quizás lo parezca (y a las mentes más avezadas les pudiera parecer), a los ojos de mentes normales el problema no es intuitivo. Pues bien: este hecho me

ha llevado a considerar, antes, insisto, de la elaboración de un fondo atractivo y de una programación “antivándalos”, nuevas modificaciones.

La primera es la de considerar que el movimiento del pistón no es uniforme, sino que se inicia con el movimiento del cigüeñal, impulsado por la energía almacenada en el volante de inercia y sobre el que el pistón ejerce un “empujoncito mínimo” en la llamada “carrera de expansión”, que a todos los efectos se comporta como lo que en Ingeniería Mecánica se denomina “Mecanismo de Biela-Manivela”.

La segunda modificación consistirá en considerar la complejidad del proceso de combustión, en el que se genera una onda de presión que viaja desde el punto de encendido en busca del pistón, al que tendrá que encontrar cuando éste se encuentre justamente en lo que llamamos Punto Muerto Superior o ligeramente pasado éste. Esto me permitirá incluir la modificación del “Avance del Encendido” sobre el ciclo teórico.

La tercera modificación será la consideración del flujo por las válvulas en los procesos de admisión y escape, lo que me llevará a la descripción de los motores de última generación, de distribución variable.

En todo ello estoy en el momento actual, centrado prácticamente en los motores alternativos. En el archivo adjunto incluyo los programas realizados tal y como se encuentran ahora mismo, insisto, a falta de finalizar la programación y del diseño final. Se envía también el programa BielaManivela que será el que se implementará en los correspondientes de motores de pistón. Probablemente todos den fallos que, vuelvo a insistir, serán corregidos, pero se envían los archivos por dejar constancia de la favorable (a mi modo de ver) evolución del proyecto.

Para abrirlos, simplemente hay que hacer clic en los documentos con extensión htm y si el navegador lo pide, “*permitir la ejecución de Scripts o controles ActiveX en el equipo*” (la paranoia de la seguridad es, a menudo, insufrible en las herramientas informáticas que empleamos). Si nunca se ha utilizado en el ordenador ShockWave Flash, se pedirá que se permita la instalación de un conector o Plugin: permítase. Al finalizar la instalación, es posible que también se pregunte por la instalación de la barra Google. Esto es a discreción del usuario. Resulta realmente “inelegante” (por decirlo de un modo suave) por parte de Adobe que esta opción venga marcada por defecto y que si el usuario no la desmarca y hace clic en continuar, se instale sin más. En el programa final, el usuario podrá ir de uno a otro modo mediante el empleo de un simple menú al que se dará el nombre de “Opciones”.

En todo el proceso de instalación inicial no deberían emplearse más de unos dos minutos con una red ADSL doméstica. En la apertura de los archivos, una vez realizada la primera instalación (que ya no habrá de repetirse más salvo si se formatea el disco duro del ordenador) no debería esperarse más de unos diez segundos. Se que esto es mucho tiempo y que algunos seres humanos tenemos, cuando nos ponemos al ordenador, una cierta “necesidad” de estar constantemente haciendo clic con el ratón, pero hemos de pensar que se trata de un programa hecho para Universitarios y no una página Web de una tienda o de alguien que nos quiera vender algo y que, por tanto, necesita “atraparnos” en su rapidez o aturdirnos en su diseño.

Pues bien: este es el momento actual del Proyecto de Innovación solicitado el año pasado. Lo que era una idea inicialmente bastante inocente, se ha convertido en algo realmente ambicioso y con un futuro muy prometedor.

Salamanca, a 24 de Junio de 2009.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'JRM', with a period at the end. The signature is fluid and cursive.

Fdo: Juan-Ramón Muñoz Rico.