

La termodinámica sin sufrimiento con ThermoOptim®

El aprendizaje de la termodinámica es casi siempre difícil, a pesar de los esfuerzos hechos por los profesores y de las evoluciones de los programas:

- la disciplina utiliza determinados conceptos fundamentales cuyo interés práctico está lejos de ser ilustrado de una manera simple, como la energía interna, la entalpía o la entropía;
- los cálculos realizados son casi siempre complejos tanto en el plano formal como en el numérico, principalmente en sistema cerrado ;
- las leyes más simples son fuertemente no-lineares;
- los industriales trabajan principalmente con sistemas abiertos y privilegian las representaciones (T,s) o (h, log P) en vez de la tradicional (P,v) de los sistemas cerrados que es la que conocen los principiantes ;

El resultado es que los alumnos encuentran dificultades serias para poder dominar los conceptos básicos, y consideran la disciplina desagradable, a pesar del número y de la importancia de sus aplicaciones industriales y su incidencia en la vida diaria (propulsión automovilística o aeronáutica, producción de electricidad, refrigeración...).

ThermoOptim (www.thermoOptim.org) es un conjunto de *software* que hace posible que los estudiantes aprendan la termodinámica sin sufrimiento: en paralelo o incluso antes de la presentación de las bases teóricas, los estudiantes pueden realizar los ejercicios prácticos que relacionan las aplicaciones de la disciplina a las máquinas reales, como por ejemplo el estudio de un refrigerador o de una central... Debido al conocimiento limitado de los estudiantes, es necesario que este aprendizaje sea tanto fácil como posible. Para motivarlos, es necesario que surjan resultados suficientemente próximos de la realidad.

Gracias a sus bibliotecas de funciones termodinámicas, ThermoOptim permite modelizar gráficamente tecnologías energéticas simples o complejas sin necesidad de escribir una sola ecuación, y obtener resultados extremadamente precisos, que pueden ser presentados visualmente de diversas formas. Se puede, por ejemplo, abandonar la suposición restrictiva de gases perfectos, e introducir líquidos reales. Como en el ejemplo (figuras 1 y 2), es posible calcular un ciclo de refrigeración por compresión que funcione con el R134a, líquido de la sustitución de CFC, y con potencial nulo de destrucción de la capa de ozono.

De esta manera, los alumnos pueden trabajar sobre las aplicaciones concretas de las nociones estudiadas en clase y comprender su interés práctico. Los estudiantes concentran sus esfuerzos cognitivos sobre la análisis cualitativa de los sistemas estudiados, mientras la parte cuantitativa es realizada por el programa. El interés de operar de esta forma es que la termodinámica aparece mucho más simple bajo el plano cualitativo que el cuantitativo: los alumnos no encuentran dificultades en comprender y memorizar las configuraciones de las máquinas térmicas clásicas, formadas por componentes elementales, cuyas funciones son directamente intuitivas: órganos de compresión y expansión, intercambiadores de calor y cámaras de combustión (figura 3).

De esta forma, la representación cualitativa y visual de la arquitectura de las máquinas es bastante independiente de la manera de cálculo secuencial de los distintos componentes, o sea de las hipótesis en que se basa la evaluación cuantitativa. Los alumnos ven, de esta forma, como un mismo elemento puede ser calculado de manera más o menos precisa en función de las herramientas matemáticas disponibles. Concretamente, ellos comprenden que

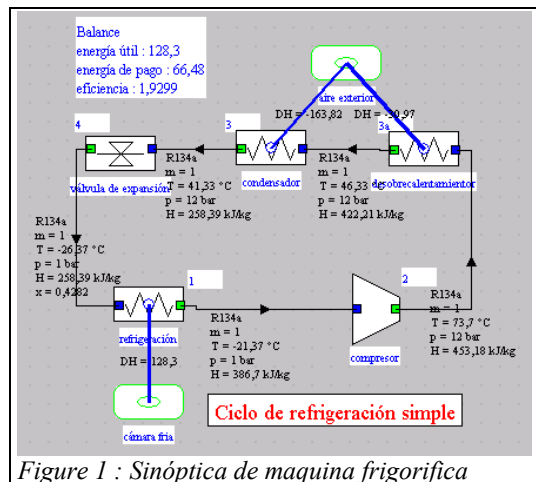
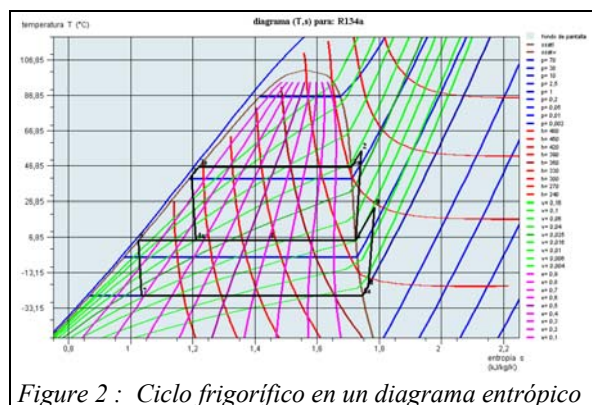


Figure 1 : Sinóptica de máquina frigorífica



la hipótesis de gases perfectos permite la realización de algunos cálculos analíticos aproximados, y cómo un entorno de modelización como Thermoptim conduce a resultados mucho más realistas. Así, la relación entre las bases de la teoría presentadas en clase y la realidad industrial puede ser más fácilmente percibida. La experiencia muestra que los alumnos pasan a dominar muy rápidamente y suficientemente bien las funciones de base del programa y que pueden servirse del programa como herramienta exploratoria que permite la mejor comprensión de los conceptos abordados durante el curso. También pueden trazar los ciclos reales en los diagramas termodinámicos (T, s) o (h, log P) utilizados por los profesionales y verificar en que y por que estos se distancian de ciclos teóricos como el de Carnot. Teniendo a disposición las propiedades reales de los fluidos, pueden abandonar las hipótesis usuales (desgraciadamente, en general, poco realistas) y construir ellos mismos modelos de máquinas térmicas perfectamente realistas..

La pedagogía adoptada consiste en ilustrar las nociones de base, las cuales no son muy intuitivas, comenzando por tratar ejemplos simples pero realistas. Los estudiantes son atraídos desde el principio por el lado lúdico del ejercicio. Entran en el juego y tratan de obtener resultados, para lo que necesitan comprender las pantallas presentadas. Haciendo esto, adquieren el vocabulario de base de la termodinámica y asimilan muy rápidamente las principales nociones. En una segunda etapa, una vez que han comprendido las transformaciones de base, los alumnos pueden estudiar los ciclos completos que ellos mismos construyen como un conjunto gráfico de componentes elementales, y aprenden de manera intuitiva a modelizarlos.

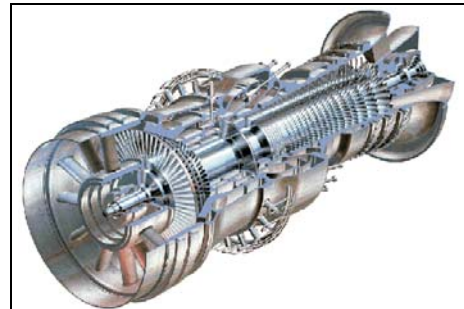
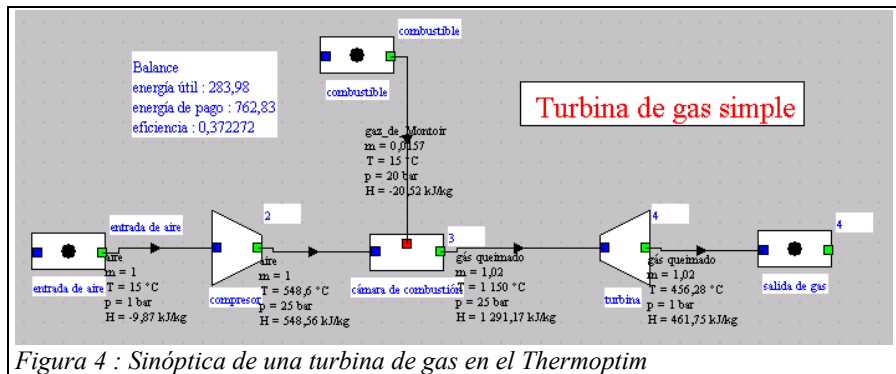


Figura 3 : Turbina de gas de Alstom Power GT24/26

Experiencias pedagógicas concluyentes fueron realizadas a partir de 1997 en diferentes ciclos de cerca de 20 establecimientos de enseñanza superior : Universidades, Escuelas de Ingeniería. El primer resultado que se obtiene es una mayor motivación por la termodinámica y una mayor atención y participación en clase que la que se obtenía con los métodos clásicos. Mas adelante, el resultado es una mejor asimilación de las nociones teóricas y de sus aplicaciones prácticas.

Thermoptim puede ser considerado como una especie de **plataforma de experimentación virtual** que permite a los estudiantes de vincular la teoría y la práctica aplicando los conceptos estudiados durante las clases, y de comenzar con la modelización de sistemas energéticos. Thermoptim permite de alguna forma hacer en termodinámica lo que hacen normalmente los programas actuales de electrónica y óptica. Para los estudiantes, su utilización presenta innumerables analogías con los programas de simulación disponibles en esas disciplinas.

Como conclusión, podemos decir que es posible utilizar un método pedagógico más constructivo en el estudio de la termodinámica, complementario del método analítico clásico. Este nuevo enfoque confiere, de una cierta manera, una nueva visión de la disciplina y facilita su asimilación. Los estudiantes trabajan en pequeños proyectos realistas



lo cual les permite relacionar la teoría y su aplicación práctica, analizar la influencia de diversos parámetros sobre el funcionamiento de las instalaciones y, sobre todo, comprender mejor la arquitectura de las máquinas usuales. Los estudiantes se concentran en su sentido físico, sin gastar mucho tiempo en los aspectos cuantitativos y sin necesidad de recurrir a hipótesis demasiado simplificadoras .

GICQUEL R., Systèmes Energétiques, Tomes 1 et 2, Presses de l'Ecole des Mines de Paris, février et novembre 2001.

Contacto : renaud.gicquel@ensmp.fr