

## El programa Thermoptim®

Tradicionalmente la termodinámica ha sido considerada como una materia ardua y el estudio de tecnologías energéticas como difícil, pero hay una considerable simplificación si se comienza por disociar la representación global del sistema, generalmente bastante simple, del estudio de sus diferentes componentes considerados individualmente.

La representación del conjunto se revela muy útil en el plano cualitativo: es visual y permite la buena comprensión del papel desempeñado por cada componente dentro del sistema completo. Bajo el punto de vista didáctico, es esencial para la mejor asimilación de los principios de concepción de estas tecnologías. Una vez que se ha comprendido la estructura interna de un motor o de un aparato de refrigeración, el estudio del comportamiento de cada uno de sus componentes es más fácil porque se sabe como insertarlo en el conjunto y cual es su contribución al funcionamiento global.

Si se dispone de un entorno gráfico adecuado como en el caso de Thermoptim, la estructura interna del sistema puede ser descrita muy fácilmente. De esta manera se obtiene una representación cualitativa muy simple para el ingeniero. Solo le queda cuantificar la parametrización de las propiedades termodinámicas de los diferentes componentes y realizar sus cálculos. Gracias al principio de separación de los aspectos cualitativos de los cuantitativos, Thermoptim permite a sus usuarios de realizar fácilmente el cálculo de los ciclos termodinámicos, incluso los más complejos, sin necesidad de escribir ecuaciones o de programar líneas de código.

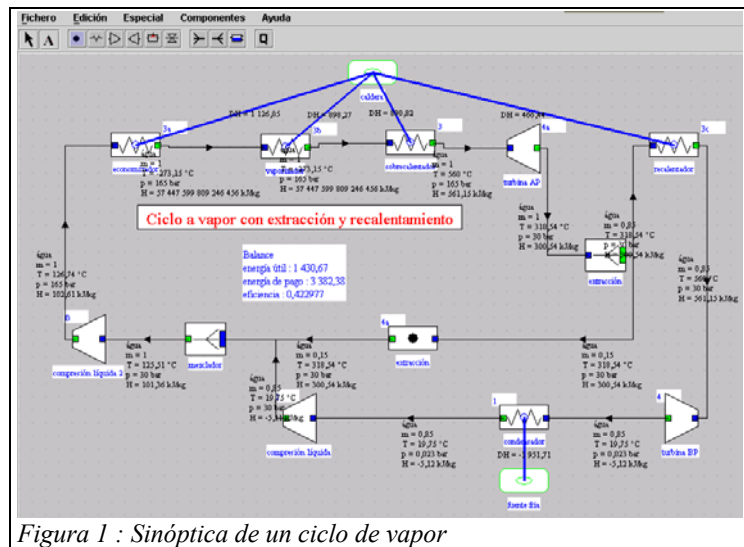


Figura 1 : Sinóptica de un ciclo de vapor

Inicialmente, Thermoptim fue desarrollado para contribuir a la resolución de ciertas dificultades encontradas durante el aprendizaje de la termodinámica aplicada. Sus aplicaciones permitirán más adelante superar el objetivo inicial y ser utilizado en la industria, por ejemplo para estudiar instalaciones de cogeneración o para optimizar la integración de futuras centrales eléctricas de generación para la Dirección de investigación y desarrollo de EDF gracias a la adición de algunas centenas de elementos.

### El programa Thermoptim

El programa Thermoptim ([www.thermoptim.org](http://www.thermoptim.org)) provee un entorno de modelización que integra de manera profundamente interconectada un editor de flujogramas (figura 1), los diagramas interactivos (figura 2), las funciones de simulación y un método de optimización, a fin de poder variar fácilmente el conjunto de parámetros característicos de los sistemas estudiados

Considerando que las tecnologías de conversión de energía se presentan como un conjunto de componentes ligados entre sí, el entorno de modelización combina un enfoque sistemático y un enfoque analítico y/o empírico clásico:

- cada elemento funcional está representado por un tipo primitivo apropiado de Thermoptim (cuerpo, punto, transformación, nodo, intercambiador) que posee características propias modificables y variables de apareamiento;
- el sistema completo está modelizado para la reunión de sus tipos gracias a una interfase interactiva;
- la simulación del sistema completo está dirigida a continuación por un motor de recálculo automático que explora las propiedades del sistema implícitamente descritas en el momento de la modelización.

Thermoptim fue desarrollado en un principio para contribuir a la solución de ciertas dificultades encontradas durante el aprendizaje y, más adelante, para el estudio profundo de la termodinámica aplicada. El permite:

- motivar a los debutantes, evitando el desestímulo causado por las dificultades del cálculo y permitiendo el tratamiento de ejemplos complejos y realistas (el programa se utiliza en cerca de veinte establecimientos de enseñanza de nivel superior) ;
- ofrecer a sus usuarios avanzados un entorno de cálculo poderoso y amigable, lo que permite el aumento de su productividad.

La termodinámica aplicada es, en efecto, una materia relativamente compleja, pues las leyes físicas son fuertemente no-lineares. Los fluidos termodinámicos utilizados son gases ideales o vapores condensables. Los primeros son relativamente simples de modelizar en comparación a los últimos, que siguen leyes mucho más complejas. Los fluidos son sometidos a transformaciones que son también no-lineares, de las más simples como compresiones y expansiones, a las más complejas que conducen a cambios en la composición, como es el caso de la combustión o de la condensación de gases húmedos. Conforme al caso, esas transformaciones deben ser calculadas en sistema abierto o cerrado, sabiendo que hay diferencias entre las ecuaciones adoptadas según el caso.

### Principales aplicaciones del simulador

Thermoptim permite calcular automáticamente el estado completo (temperatura, presión, volumen másico, entalpía, energía interna, entropía, exergía, título) de diferentes fluidos, los cuales pueden ser gases ideales o vapores condensables. Estos fluidos pueden ser sometidos a diversas transformaciones :

- compresiones y expansiones en sistema abierto o cerrado. Ellos pueden ser adiabáticos o politrópicos y se caracterizan por su rendimiento isentrópico o politrópico ;
- combustiones, ellas también en sistema abierto o cerrado, a presión impuesta, a volumen impuesto o a temperatura constante. El combustible puede introducirse en la cámara de combustión separado del carburante o puede estar pré-mezclado. La disociación del dióxido de carbono puede ser considerada ;
- estrangulamientos isoentálpicos;
- intercambios de calor con otros fluidos, el programa puede calcular el producto UA del coeficiente de intercambio térmico para la superficie del intercambiador para configuraciones de contracorriente, con corriente et corrientes cruzadas o del tipo (p-n).

Para representar las redes de fluidos sobre las cuales se puede trabajar, se definen los nodos, que en la práctica son mezcladores o divisores, asegurándose de la conservación del caudal y de la entalpía. Los otros elementos (compresores, turbinas, cámaras de combustión, intercambiadores) pueden conectarse fácilmente.

De esta forma, las mezclas de fluidos pueden ser realizadas, conduciendo a la creación de cuerpos complejos, considerados como gases ideales. Thermoptim permite, en particular, de tratar con gases húmedos, mezclas de un gas seco y de un vapor de agua susceptible de condensarse, y propone tipos de transformaciones particulares a ese tipo de mezcla (calentamiento, enfriamiento, humidificación adiabática o no, soplado, desecación).

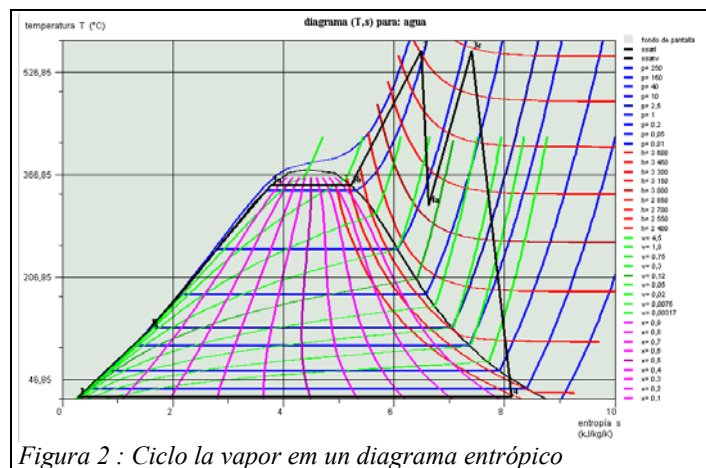


Figura 2 : Ciclo la vapor em un diagrama entrópico

El programa posee una base de datos de las propiedades termodinámicas de las sustancias más comunes encontradas en la práctica. El conjunto de los elementos que componen el sistema estudiado es reagrupado bajo la forma de un proyecto y puede ser fácilmente manipulado gracias a la existencia de las interfaces apropiadas.

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](mailto:renaud.gicquel@ensmp.fr)