

# Ingeniería del Conocimiento: Análisis de Ciclos de Gas

Luis Gago<sup>1</sup>, Vanina Beraudo<sup>2</sup>, Natalia Stark<sup>1</sup>

Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de La Pampa

Calle 110 Esq. 9 (6360) General Pico – La Pampa – Rep. Argentina

Te. / Fax: (02302) 422780/422372, Int. 6302

e-mail: <sup>1</sup>{lgago, nstark}@ing.unlpam.edu.ar, <sup>2</sup>vaninaberaudo@gmail.com.ar

## Resumen

En el marco de la investigación que se centra en estudiar los roles asignados al trabajo práctico, al trabajo de laboratorio, y a los experimentos en la cátedra de Termodinámica, materia de formación básica en ingeniería, se pretende aplicar y extender la funcionalidad de un *sistema experto* capaz de determinar la factibilidad de funcionamiento de una máquina térmica desde el punto de vista termodinámico, mediante el análisis del diseño de un ciclo de potencia, el *ciclo Joule Brayton*; y ofrecer a estudiantes de Termodinámica, en especial, una herramienta innovadora que les permita aprender principios fundamentales del dominio, en base tanto a sus aciertos como a sus errores, detectando diseños físicamente imposibles y proporcionándoles las explicaciones que un buen asistente de laboratorio les brindaría.

*Palabras clave:* Sistemas Expertos, Termodinámica, Ciclos Termodinámicos, Ingeniería del Conocimiento

## Introducción

Pedagógicamente, la enseñanza y el aprendizaje del análisis y diseño de ciclos termodinámicos es un problema importante [3], razonarlos requiere un amplio y profundo entendimiento de los fundamentos de Termodinámica, por lo cual el estudio de ciclos ocupa la mayor parte del entrenamiento práctico de estudiantes de ingeniería en las cátedras de Termodinámica. La experiencia en diseño se considera esencial para la educación en ingeniería y provee un contexto motivador poderoso para el aprendizaje de los principios físicos fundamentales: no se puede diseñar un motor de reacción, un refrigerador, o planta de potencia sin usar un amplio rango de principios físicos. Esta experiencia es difícil de transmitir en un aula típica porque muchos artefactos físicos interesantes (como plantas de poder, artefactos del motor de reacción, y refrigeradores) son caros o peligrosos para construir y experimentar con ellos.

Los Sistemas Basados en Conocimiento ó Sistemas Expertos (SE) emulan el comportamiento humano experto en un área de conocimiento determinada. Constituyen sistemas de ayuda a la toma de decisiones en áreas tan diversas como la selección de estrategias instruccionales [8], el control de variables ambientales [9], la configuración de ventiladores en neonatología [10].

Este trabajo presenta una herramienta innovadora para el estudio de los ciclos termodinámicos, un SE que permite determinar la factibilidad de funcionamiento de una máquina térmica, mediante el análisis y diseño del ciclo Joule Brayton.

El ciclo Brayton es un ciclo de potencia de gas y es la base de las turbinas de gas. Tiene como función transformar energía que se encuentra en forma de calor a potencia para realizar un trabajo, tiene varias aplicaciones, principalmente en propulsión de aviones, y la generación de energía

eléctrica, aunque se ha utilizado también en otras aplicaciones. Es El ciclo teórico más elemental está constituido por dos transformaciones isobaras y dos isoentrópicas. Puede ser de tipo cerrado o de tipo abierto. Este ciclo es utilizado en turbinas de gas. El objetivo del ciclo Brayton es convertir energía en forma de calor en trabajo, por lo cual su rendimiento se expresa en términos de eficiencia térmica. A continuación se muestra el gráfico de un ciclo Joule-Brayton (figura 1), dónde pueden apreciarse sus componentes.

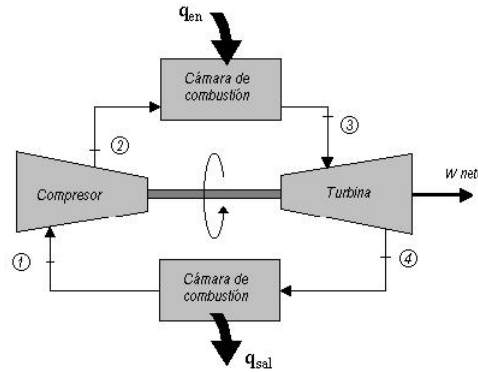


Figura 1: Diagrama del ciclo Joule-Brayton

El Sistema Experto sirve de guía y en especial de herramienta al usuario que comienza a trabajar con ciclos termodinámicos, detectando diseños imposibles de construir, en menos tiempo, especificando la causas que imposibilitan la construcción y ofreciendo la posibilidad de realizar cambios y /o ajustes sobre los valores para conseguir que los resultados sean factibles tal y como lo haría una persona idónea en el tema.

### Análisis de Diseño de Ciclos Termodinámicos

En Termodinámica hay dos importantes áreas de aplicación, la generación de potencia y la refrigeración [1]. Ambas se realizan mediante sistemas que operan en un ciclo termodinámico, dentro del cual un fluido de trabajo sufre una serie de transformaciones para procesar energía.

Los ciclos se dividen en dos categorías generales: ciclos de potencia y ciclos de refrigeración. Los dispositivos o sistemas empleados en producir una salida de potencia neta reciben el nombre de máquinas térmicas, y los ciclos termodinámicos que operan se denominan ciclos de potencia. Los dispositivos o sistemas utilizados en producir refrigeración se llaman refrigeradores, acondicionadores de aire o bombas de calor, y los ciclos termodinámicos que operan reciben el nombre de ciclos de refrigeración.

Los ciclos termodinámicos también se categorizan como ciclos de gas o ciclos de vapor, depende de la fase del fluido de trabajo, es decir, la sustancia que circula por el sistema.

Los ciclos termodinámicos pueden, incluso, categorizarse como ciclos cerrados o abiertos. En los ciclos cerrados el fluido de trabajo es regresado a su estado inicial al final de cada ciclo y se recircula. En los ciclos abiertos el fluido de trabajo se renueva al final de cada ciclo, en lugar de ser recirculado.

Para los especialistas en Termodinámica, los ciclos termodinámicos juegan el mismo rol que los circuitos electrónicos para los ingenieros en electrónica: una cierta cantidad de partes, compresores, turbinas, intercambiadores de calor, son combinadas en red generando alternativas de diseño para un problema dado.

El análisis de ciclos responde a cuestiones tales como la eficiencia global del sistema, cuánto calor o trabajo es consumido y/o producido, que propiedades del fluido (temperatura, presión, volumen) son requeridos por los componentes o dispositivos, así como entender de qué manera las

propiedades de los componentes y del fluido en distintos puntos del ciclo afectan a las propiedades globales del mismo.

En Termodinámica, la mayor parte de los dispositivos que producen potencia operan en ciclos. Los ciclos que se efectúan en los dispositivos reales son difíciles de analizar por la presencia de efectos complicados, como la fricción, y la ausencia de tiempo suficiente para establecer las condiciones de equilibrio durante el ciclo. Para hacer factible el estudio analítico de un ciclo, es necesario conservar las complejidades en un nivel manejable y utilizar algunas idealizaciones (modelado). Cuando al ciclo se le eliminan todas las irreversibilidades y complejidades internas, se finaliza con un ciclo que se asemeja al ciclo real pero conformado por completo por procesos internamente reversibles. Un ciclo de estas características recibe el nombre de ciclo ideal. Un modelo idealizado simplemente permite a los ingenieros estudiar los efectos de los principales parámetros que gobiernan el ciclo, sin empantanarse en los detalles. No siempre las conclusiones del análisis de ciclos ideales son aplicables a los ciclos reales.

Termodinámica es una materia importante en la formación de un futuro ingeniero. En su currícula, los Ciclos Termodinámicos constituyen un tema interesante, dado su carácter integrador de principios y por sus posibilidades de aplicación en la práctica. Su entendimiento requiere un amplio y profundo conocimiento de los principios físicos que fundamentan la materia. De hecho los libros más introductorios a la Termodinámica dedican diferentes capítulos al análisis de ciclos y hasta algunos textos se dedican únicamente al análisis de ciclos.

Una variedad de problemas aparecen cuando se enseña a los estudiantes como diseñar y analizar ciclos [5]: (1) los estudiantes tienden a estancarse en el mecanismo de resolver ecuaciones y cálculos rutinarios. Esto impide explorar múltiples alternativas de diseño y otros estudios, por ejemplo: ver como la eficiencia varía como función de la eficiencia de la turbina versus como ésta varía como una función de la temperatura de salida de la caldera. De modo que sin hacer este estudio comparativo algunas oportunidades de aprendizaje lamentablemente se pierden. (2) los estudiantes están preocupados respecto a qué suposiciones para el modelado necesitan hacer, tal como asumir que un intercambiador opera isobáricamente, o que una válvula lo hace isoentálpicamente, (3) los estudiantes frecuentemente no cambian los parámetros que eligieron para ver si sus diseños son físicamente posibles, por ejemplo: que sus diseños no requieran el absurdo de una bomba que produzca en lugar de consumir trabajo.

Para contribuir a enriquecer el proceso de enseñanza-aprendizaje, se ha desarrollado un Sistema Experto (SE) [6, 7] construido específicamente para ayudar a los estudiantes a aprender ingeniería termodinámica. Proveyendo un ambiente de aprendizaje que maneje cálculos rutinarios, facilidades de análisis, ayude a los estudiantes a mantener pistas del modelo de suposición y detectar diseños físicamente imposibles, omisión de datos, inconsistencias o incompatibilidades especificando las causas y/o sugiriendo mejoras correctivas.

El SE diagnostica la factibilidad de funcionamiento de un ciclo de potencia, el ciclo Joule Brayton.

Las tareas propias de un experto que realiza el sistema son, principalmente:

- *Diseño*: el usuario podrá variar un conjunto de posibles alternativas como ser la elección del ciclo, el ingreso de las propiedades de los dispositivos, de los estados, del ciclo y/o de la máquina.
- *Diagnóstico*: el sistema determinará las posibilidades de funcionamiento de la máquina térmica, encontrando fallas en base a los valores que se van ingresando y a las relaciones entre los mismos. Verificará que éstos cumplan con determinadas restricciones y alertará al usuario sobre inconsistencias o contradicciones en datos aportados justificando el porqué de las mismas.
- *Depuración, reparación*: en el sentido de recomendar acciones correctivas.
- *Ayudante inteligente*: en el sentido de aconsejar, proporcionar información o efectuar tareas como resolver cálculos rutinarios y realizar distintos análisis termodinámicos.

- *Análisis gráfico*: el sistema en base a resultados de cálculos específicos dentro de los estados y los dispositivos mostrará información ordenada de forma gráfica que facilite el análisis y la interpretación de los datos.

El desarrollo se llevó adelante empleando fases y etapas de metodología del área de Ingeniería en Conocimiento denominada I.D.E.A.L [4] (acrónimo de las fases que la conforman: Identificación de la tarea, Desarrollo del prototipo, Ejecución de la construcción del sistema integrado, Actuación para conseguir el mantenimiento perfectivo, Lograr una adecuada transferencia tecnológica. El sistema se implementó empleando programación orientada a objetos y el motor de reglas lógicas de Drools [2].

## **Tareas de Investigación y Desarrollo**

Hasta el momento el sistema ha sido sometido a dos tipos de “tests” [6, 7]. Los primeros estuvieron orientados a detectar fallas e inconsistencias (a nivel matemático-físico, coordinación de elementos, etc.). Los segundos fueron tests de usabilidad que ayudaron a refinar algunos aspectos de la interfaz. Se pretende, gradualmente, poner en práctica el sistema empleándolo en distintas actividades consensuadas con los alumnos e integrantes de la cátedra Termodinámica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Pampa, en los próximos meses. Esto permitirá que se realicen estudios de usuario donde se cuantifiquen los resultados de sus evaluaciones y analizar en mayor profundidad la utilidad del sistema propuesto.

Por otra parte, el problema de capturar conocimiento del experto suele ser un “cuello de botella”. Esperar que el Experto ingrese las reglas al sistema por su propia cuenta suele ser poco práctico. También es poco práctico esperar que un ingeniero de conocimiento las ingrese (por el conocido problema de comunicación debido a las diferentes formaciones y lenguajes utilizados por expertos en física/matemática y programadores).

Se pretende extender la funcionalidad del sistema de modo que abarque diferentes diseños como ser, ciclos abiertos, ciclos Otto, Diesel y diseños creados por el usuario, así como también que opere con diferentes tipos de fluidos y se diseñen otras máquinas como son bombas de calor y máquinas frigoríficas. Para esto se espera previamente discutir e investigar cómo adquirir los conocimientos del Experto.

## **Resultados Esperados**

Los procesos necesarios para determinar la factibilidad de construcción y funcionamiento de las máquinas térmicas son grandes, complejos e insumen mucho tiempo debido a la cantidad de cálculos matemáticos que hay que realizar.

Con el desarrollo de esta herramienta se pretende, en un principio, reducir notablemente la cantidad de tiempo necesario para obtener los resultados ya que el sistema aprovecha los beneficios en velocidad de la computación y mantiene una lógica de resolución orientada a la deducción de resultados. También se espera obtener ventajas al modificar el diseño ó valores del ciclo diseñado, obteniendo los nuevos resultados inmediatamente. Tarea que realizada, manualmente, implicaría el recálculo de todas las fórmulas.

Se espera obtener una herramienta que contribuya a la mejora de la enseñanza de Termodinámica y se convierta en un recurso orientado a la comprensión del análisis y diseño de ciclos termodinámicos y a la obtención de aprendizajes significativos.

## Referencias Bibliográficas

- [1] Cengel Y. y Boles M. Termodinámica, Mc Graw Hill, quinta edición, 2006.
- [2] Drools: <http://www.jboss.com/products/rules>
- [3] Forbus, D.; Whalley, P. Using qualitative physics to build articulate software for thermodynamics education. Proceeding of IAAA-94. Pág.1175-1182. 1994.
- [4] Gómez A., Juristo N., Montes C. y Pazos J. Ingeniería del Conocimiento. Editorial Centros de Estudios Ramón Areces. 1997.
- [5] Gago L., Stark N. Experiencia de Aplicación de las TIC's, en la Enseñanza de las Ciencias, mediante el uso de Sistemas Expertos. Libro de trabajos del I Congreso en Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC's) en la Enseñanza de las Ciencias. Pág. 170 a 179. 2005.
- [6] Gago L., Beraudo V., Stark N., Echeverría M. Sistema Experto aplicado a la Enseñanza de Ciclos Termodinámicos, en Memorias de la XV Reunión Nacional de Educación en la Física, Asociación de Profesores de Física de la Argentina, Universidad Nacional de San Luis. 2007
- [7] Gago L., Beraudo V., Stark N., Echeverría M. Sistema Experto aplicado a la Enseñanza de Ciclos Termodinámicos. Anales del XIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación. 2007 Pág 1077 a 1088.
- [8] Sierra, E., Hossian, A. y García-Martínez, R. Sistemas Expertos que recomiendan Estrategias de Instrucción. Un Modelo para su Desarrollo. Revista Latinoamericana de Tecnología Educativa. 1(1): 19-30. 2003.
- [9] Sierra, E., Hossian, A., García-Martínez, R. y Marino, P. Sistema Experto para Control Inteligente de las Variables Ambientales de un Edificio Energéticamente Eficiente. Proceedings de la XI Reunión de Trabajo en Procesamiento de la Información y Control. Universidad Nacional de Río Cuarto. Pág. 446-452. 2005
- [10] Bermejo, F., Britos, P., Rossi, B y García Martínez, R. Sistema de Asistencia para la Configuración de Ventiladores OAF en Neonatología. Revista del Instituto Tecnológico de Buenos Aires. 28: 24-68. 2002.