

## Propuesta De Simulador De Bomba De Calor De Alta Temperatura Para Uso Educativo

Resumen: Las bombas de calor de alta temperatura son un método útil de recuperar calor residual en la industria. Por ello, en el siguiente artículo se muestra la propuesta de un simulador de este tipo de sistemas para que sea utilizado por estudiantes de asignaturas incluidas en el área de ingeniería termodinámica. La plataforma interactiva, permite modificar los parámetros de funcionamiento, características de los componentes utilizados y fluido de trabajo refrigerante. Como salidas, el programa proporciona el desempeño energético del ciclo y los kgCO<sub>2</sub> equivalente emitidos a la atmósfera. Los estudiantes pueden comprobar cómo ciertos refrigerantes de bajo PCA alternativos al R245fa pueden disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero sin perder eficiencia.

Palabras clave: Laboratorio Informático, Ingeniería Termodinámica, Eficiencia Energética, Sistema de Compresión de Vapor

### **1. Objetivos o propósitos:**

---

El principal objetivo de este Trabajo es desarrollar una herramienta que pueda ser utilizada por alumnos de Grado y/o Máster de diferentes tipos de Ingeniería para que entiendan los beneficios proporcionados por un tipo de sistema que permite reaprovechar gases de baja temperatura como son las Bombas de Calor de Alta Temperatura (BCAT). Dicho objetivo principal se completa mediante los siguientes objetivos específicos:

- Investigación de opciones de refrigerantes de bajo Potencial de Calentamiento Atmosférico (PCA).
- Utilización de un software con licencia por la mayor parte de universidades españolas.
- Desarrollo de una herramienta interactiva, intuitiva y rápida.
- Obtención de resultados que permitan al alumno formarse en conceptos y técnicas de sostenibilidad medioambiental, aplicables en su futuro profesional.

### **2. Marco teórico:**

---

El cambio climático es un hecho aprobado por la mayoría de la comunidad científica que puede tener consecuencias catastróficas. Para tratar de detener este fenómeno, son necesarios profesionales cualificados con conciencia medioambiental no solo en el desarrollo de tecnologías sostenibles sino también en la promoción de los cambios culturales necesarios. Ambusaidi et al. (2012) demostraron que existe la conciencia medioambiental y social y los conceptos desarrollados por los estudiantes están conectados y por tanto, se puede destacar la utilidad de tratar conceptos de eficiencia energética en el aula. Cawsey (1996)

---

Organizado por:



describió diferentes ejemplos de sistemas innovadores de educación y capacitación, asociaciones y redes con objetivos regionales, nacionales e internacionales para volver proactivos a profesionales de la ingeniería en defensa del medio ambiente y poder influir en el futuro.

Las asignaturas relacionadas con la termodinámica pueden ser un buen medio para transmitir estos conocimientos por la relación del consumo y utilización de energía con el cambio climático. Sin embargo, según Ugursal y Cruickshank (2015), este grupo de asignaturas son las que más esfuerzo y tiempo requieren por parte de los otros estudiantes. También concluyen que, si los estudiantes comienzan a encontrar el material interesante y emocionante, probablemente pasen aún más tiempo trabajando los conceptos y lo aprendan mejor.

Los laboratorios informáticos son utilizados con asiduidad para asimilar afianzar los conceptos vistos en clase de una forma diferente e interactiva, y complementar a las sesiones de problemas. Aunque pueden ser observados en diferentes áreas de la ingeniería, son muy típicas las aplicaciones informáticas desarrolladas por propios equipos docentes de universidades en el área de la termodinámica.

Antón et al. (2009) concluyeron que los simuladores de ciclos de compresión de vapor brindan tiempo adicional a los profesores para analizar el rendimiento del ciclo con los estudiantes y enriquecer la calidad de la enseñanza en ambas direcciones. Sin embargo, advierten, que este tipo de simuladores no son suficientes y deben complementarse con guías apropiadas. Cabello et al., (2011) desarrollaron REFLAB, una herramienta que permite evaluar diferentes parámetros operativos y energéticos de forma online en una instalación de compresión de vapor, que tuvo una gran aceptación por parte de los alumnos. Belman-Flores et al. (2015) utilizaron Engineering Equation Solver para representar el comportamiento de un sistema de compresión de vapor y diseñaron un programa robusto debido al gran rango operativo que permite simular. Por otra parte, Begui et al. (2015) demostró como un laboratorio de refrigeración controlado de forma remota para que funcione según sea requerida y de avisos de malfuncionamiento por estudiantes de una asignatura de control puede ser efectivo para su aprendizaje. Otra conclusión interesante fue la de Baher (1999), quien usó CyclePad, un laboratorio virtual para crear y analizar ciclos de termodinámica, en diferentes tipos de instituciones de educación superior. Vio como el uso de software puede ser más o menos provechoso dependiendo de diferentes factores como estructura del curso, asignaciones de clase, antecedentes matemáticos de los estudiantes o recursos informáticos.

### 3. Metodología:

---

Engineering Equation Solver (EES) es un programa general de resolución de ecuaciones que puede resolver numéricamente miles de ecuaciones algebraicas y diferenciales no lineales acopladas. Una característica destacable de EES para el

---

Organizado por:



propósito del artículo, es la base de datos de propiedades de transporte y termodinámica de alta precisión para cientos de sustancias (Klein, 2006). Aunque la utilización de EES requiere licencia, existe una versión libre limitada y se ha diseñado el programa de modo que encaje en esta versión y a la vez aporte resultados interesantes.

Por parte del equipo docente que ha preparado este programa, se ha requerido introducir las ecuaciones (que definen el funcionamiento de un sistema de compresión de vapor), y el desarrollo de la interfaz gráfica para el uso del software por los alumnos durante el laboratorio informático.

#### **4. Discusión de los datos, evidencias, objetos o materiales:**

---

La definición de los cálculos que realiza el programa no es de gran complejidad, puesto que EES es un software bastante intuitivo e incluso se pueden encontrar prácticas en diferentes grados de Ingeniería en el que se pide definir sistemas de refrigeración con este programa.

Sin embargo, el objetivo de desarrollar un simulador sistemas de bombas de calor de alta temperatura con análisis del desempeño energético e impacto ambiental ha exigido esfuerzo adicional en los siguientes ítems incluidos en la fase de desarrollo del programa:

- Encontrar qué tipos de configuración para BCAT son interesantes desde un punto de vista docente.
- Implementar los ficheros de simulación de fluidos utilizados en BCATs clásicamente y recientemente desarrollados.
- Emplear correlaciones para simular eficiencia volumétrica e isentrópica del compresor para tener valores más cercanos a la realidad.

#### **5. Resultados y/o conclusiones:**

---

Como principal resultado de este trabajo es pues, el software para simulación de bombas de calor de alta temperatura, cuya interfaz se muestra en la Figura 1.

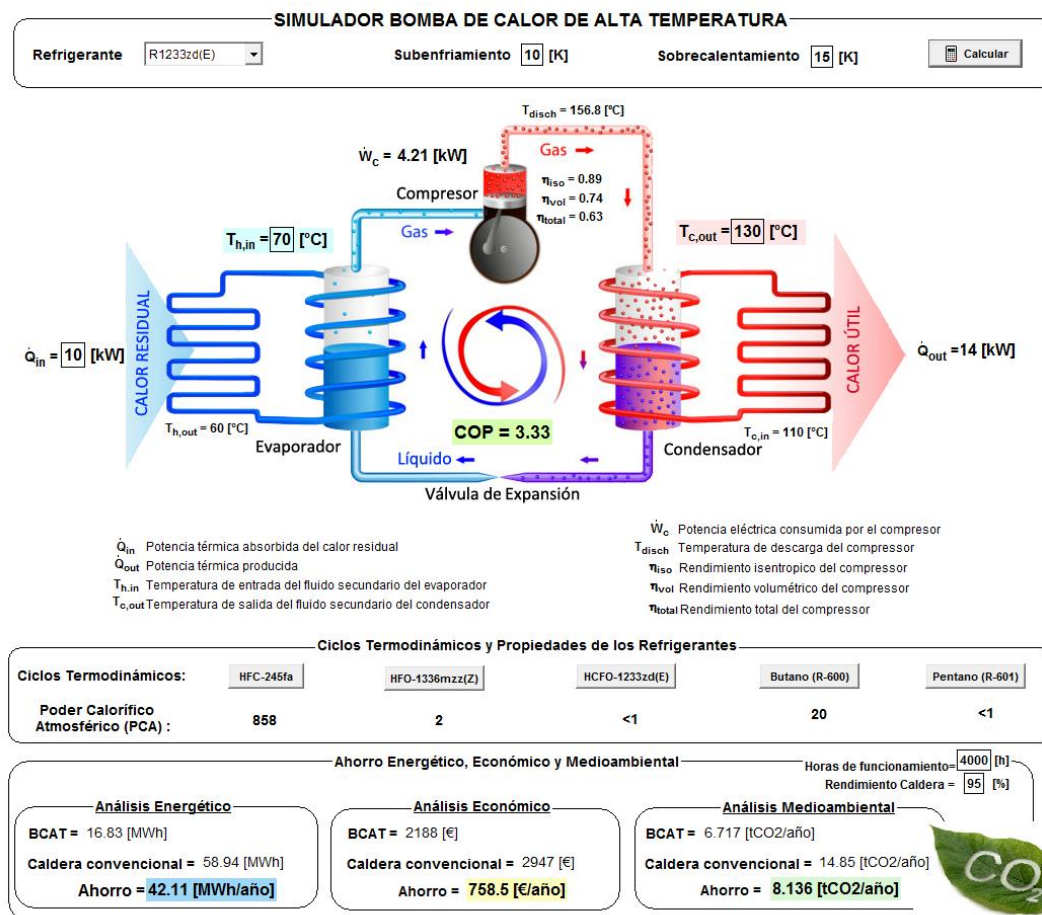


Figura 1. Interfaz del software de BCAT

Como se ve, los alumnos pueden seguir las condiciones de operación sobre el esquema y modificar las condiciones de entrada al sistema y el fluido de trabajo a utilizar. Posteriormente, pueden leer los parámetros de desempeño y consumo energético, producción de calor útil, y obtener información sobre el ahorro energético, económico y medioambiental provocado con la utilización de este sistema en comparación con una caldera convencional. También se permite observar el ciclo termodinámico dinámico que cambiará cada vez que los parámetros sean modificados y les ayudará a repasar los conceptos de ciclos de compresión de vapor y entender el porqué de la variación de COP (Figura 2).

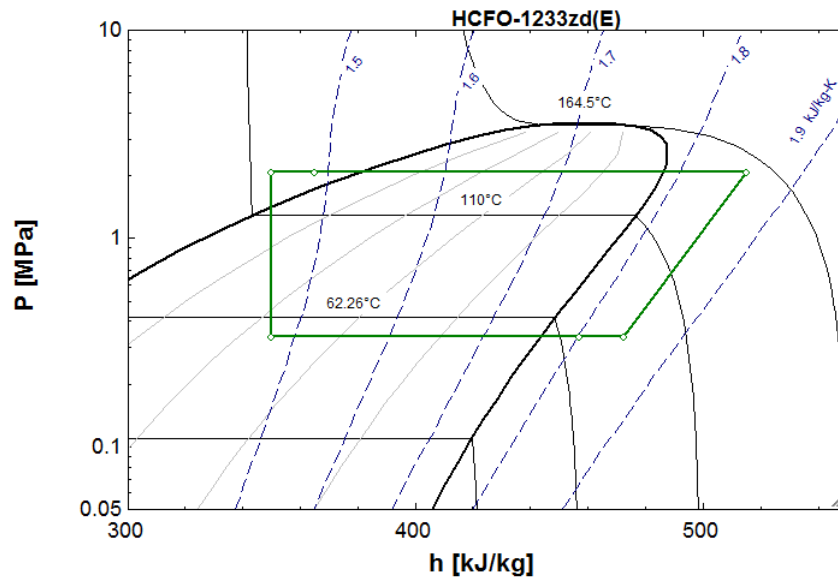


Figura 2. Ciclo termodinámico dinámico.

Los alumnos pueden comprobar como al usar refrigerantes como HFO-1336mzz(Z), HCFO-1233zd(E), Butano y n-Pentano pueden obtenerse ahorros de emisiones y al aumentar la diferencia entre las temperaturas de baja y alta, la energía requerida por el sistema aumenta y el desempeño energético de este disminuye.

## 6. Contribuciones y significación científica de este trabajo:

Este trabajo presenta un programa desarrollado para ser utilizado por los alumnos en la observación de la operación de bombas de calor de alta temperatura a diferentes condiciones y utilizando diferentes refrigerantes. Dicha herramienta, permite un análisis rápido de los datos y la evaluación del desempeño energético del sistema.

## 7. Bibliografía:

- Ambusaidi, A., Boyes, E., Stanisstreet, M., & Taylor, N. (2012). Omani students' views about global warming: beliefs about actions and willingness to act. *International Research in Geographical and Environmental Education*, 21(1), 21–39. doi: 10.1080/10382046.2012.639154
- Anton, R., Jonsson, H., Ramos, J. C., & Gomez-Acebo, T. (2009). Refrigerating Cycle Simulator: System Modelling, Educational Implementation and Assessment. *International Journal of Engineering Education*, 25(2), 324-332.
- Baher, J. (1999). Articulate Virtual Labs in Thermodynamics Education: A Multiple Case Study. *Journal of Engineering Education*, 88(4), 429-434. doi: 10.1002/j.2168-9830.1999.tb00470.x

Organizado por:





#CIMIE18

LA MARCHA DE LAS CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN

Zaragoza, 5 y 6 de julio de 2018

- Beghi, A., Cervato, A., & Rampazzo, M. (2015). A Remote Refrigeration Laboratory for Control Engineering Education. *IFAC-PapersOnLine*, 48(29), 25-30. doi: 10.1016/j.ifacol.2015.11.208
- Belman Flores, J. M., Barroso Maldonado, J. M., Mendez Díaz, S., & Martínez Martínez, S. (2015). Virtual test bench as a complement to study thermal area application in vapor compression systems. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 77, 54–62. doi: 10.17533/udea.redin.n77a08
- Cabello, R., Llopis, R., Sánchez, D., & Torrella, E. (2011). REFLAB: An interactive tool for supporting practical learning in the educational field of refrigeration. *International Journal of Engineering Education*, 27(4), 909-918.
- Cawsey, D. C. (1996). Influencing the Future Through Innovations in Environmental Engineering Education. *European Journal of Engineering Education*, 21(4), 393-402. doi: 10.1080/03043799608923425
- Lemmon, E. W., Huber, M. L., & McLinden, M. O. (2013). *NIST Standard Reference Database 23: Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties-REFPROP, Version 9.1*, National Institute of Standards and Technology, Standard Reference Data Program, Gaithersburg, MD, USA.
- Ugursal V. I., & Cruickshank C. A. (2015). Student opinions and perceptions of undergraduate thermodynamics courses in engineering. *European Journal of Engineering Education*, 40(6), 593-610. doi: 10.1080/03043797.2014.987646
- Klein, S., 2006. Engineering Equation Solver (EES) V10.2. Fchart software, Madison, USA [www.fchart.com](http://www.fchart.com).

---

Organizado por:

