

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EL ANÁLISIS DEL EFECTO DE SOBRECALENTAMIENTO Y EL PRINCIPIO DE COGENERACIÓN DE UN SISTEMA DE REFRIGERACION SIMPLE POR COMPRESION DE VAPOR PARA EL LABORATORIO DE CONVERSIÓN DE ENERGÍAS DEL DECEM

EDWIN R. ANDRADE F. y ADRIÁN D. MAZA Y.

RESUMEN

El trabajo de tesis se enfoca en comparar los resultados obtenidos durante un proceso de análisis exerético vs un análisis energético dentro de un banco de prueba diseñado en función de un ciclo termodinámico de refrigeración por compresión de vapor, buscando la mejor definición de eficiencia, y la comprensión de aprovechamiento del trabajo proveniente de una fuente externa a un sistema. Entendiendo cuanto de este trabajo es realmente útil y cuanto de este trabajo no llega a ser utilizado. Se enfoca en el entendimiento de la irreversibilidad de los procesos y su influencia en el rendimiento final de un ciclo de refrigeración por compresión de Vapor que es sometido a varias condiciones de trabajo. Además de la introducción de principios de cogeneración en sistemas térmicos.

ABSTRACT

This thesis Project focus on comparison de results obtain during a process of exergetic analysis an energetic analysis on a thermodynamic steam compression refrigeration cycle test bank, looking on the best definition for efficiency, and the understanding of heat utilization that comes from an external source of our system. Understanding how many of this work is really used and how many of the work is not used at all. It focuses on the comprehension of the irreversibility on the process and its influence on the final performance of the thermodynamic steam compression refrigeration cycle that works under different conditions. Also it introduced to the cogeneration principles on heat systems.

INTRODUCCIÓN

Durante mucho tiempo la palabra energía ha sido entendida como la parte útil de un proceso o medida de cuan eficiente es un sistema, pero esta definición en el

campo de la ingeniería se aleja mucho de la realidad, por lo que para obtener entender de mejor manera que es eficiencia o comprender que es desempeño se debe enfocarse en términos como exergía, producción y destrucción de entropía y generación de

irreversibilidades cual fuera el sistema que se está analizando.

Al no existir un banco de pruebas dentro del laboratorio del DECEM que permita a los estudiantes entender y realizar una práctica enfocada a un análisis más exhaustivo del rendimiento mecánico y térmico de un sistema termodinámico, se generó la necesidad de crear un equipo que nos permita realizar dicho análisis. Un Equipo que posea la capacidad de permitir al estudiante realizar un análisis a fondo de su comportamiento y como resultado poder determinar de mejor manera cuan eficiente es el equipo en función de un análisis exergético.

Para poder vincular al estudiante con la práctica profesional, se seleccionó un ciclo termodinámico genérico que se encuentra en muchas aplicaciones industriales, ese es el caso del ciclo de refrigeración por compresión de vapor.

Y además introducir un término que no se ocupa mucho en la industria local, cual es la cogeneración y el aprovechamiento de un sistema anexo a un circuito industrial.

ANTECEDENTES

El concepto de exergía ha sido objeto de acalorados debates tanto en su denominación como en su origen. En la controversia sobre su origen aparecen los nombres de eminentes científicos (Maxwell (1871), Gibbs (1873), Kelvin (1889), Gouy (1889) y Stodola (1898)) más conocidos por otras de sus contribuciones. El concepto fue ciertamente estudiado y usado por Gouy y Stodola a finales del pasado siglo, quienes independientemente uno de otro formularon la ley que lleva su nombre.

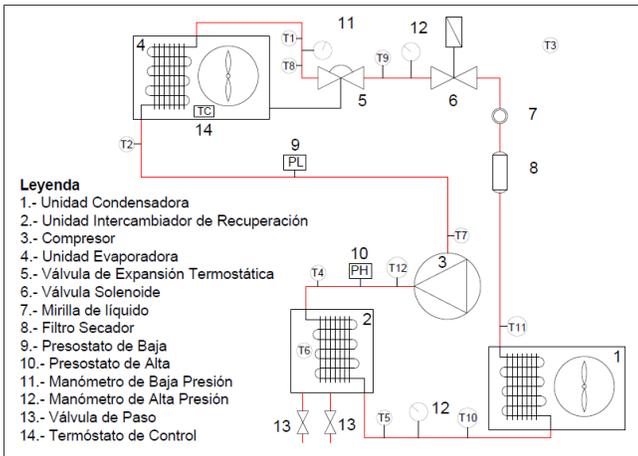
METODOLOGÍA Y MATERIALES

Recopilación de información referente al tema en base a varias fuentes bibliográficas que nos permitan posicionarnos en la ubicación exacta que se encuentra el desarrollo actualizado del tema de exergía, de eficiencia exergética y cogeneración.

Diseño enfocado en el cumplimiento de especificaciones iniciales requeridas por el ciclo de refrigeración por compresión de vapor. Utilización de métodos de construcción basada en normativas para máquinas de refrigeración y directrices de los proveedores. Implementación e instalación de la instrumentación necesaria para el control y correcto desenvolvimiento del equipo como para la facilidad de obtención de datos vitales durante la realización de las diversas prácticas de laboratorio, el sistema trabajara con refrigerante R404 del proveedor DuPont del cual obtendremos todos los coeficientes de comportamiento del mismo dentro de un ciclo termodinámico por compresión de vapor, todo esto sumado a que el dimensionamiento del equipo se lo realizo en función de la unidad condensadora de Marca TECUMSEH modelo AKL26ZS de capacidad tope 1 HP en su unidad compresora.

Se expone a continuación el diagrama unifilar del ciclo termodinámico para el banco de pruebas.

Figura 1. Diagrama unifilar para el banco de pruebas



Generación de prácticas de laboratorio que nos permita el desarrollo del concepto de exergía y eficiencia exergética, permitan al estudiante a percibir de manera clara la diferencia entre un análisis exergético y energético y la introducción a temas relacionados a la cogeneración.

Desarrollo de procedimientos de manipulación y seguridad del equipo como de sus componentes, además de la creación de procedimiento de toma de datos, encendido, apagado y configuración del equipo.

El desarrollo del proyecto en beneficio del laboratorio, de los estudiantes en el ámbito técnico como económico.

PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

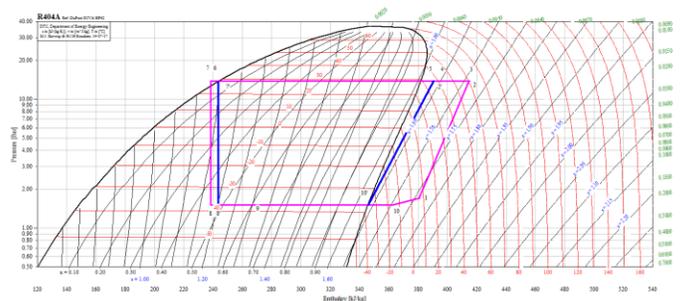
A través de un proceso de manipulación del equipo de laboratorio, junto con la generación de una bitácora del comportamiento del banco de pruebas bajo varios regímenes de trabajo se obtuvo los siguientes datos:

Tabla 1: Datos obtenidos durante las diferentes prácticas de laboratorio

Número de Resistencias Encendidas Evaporador	Sin Resistencia		Con una Resistencia encendida		Con dos Resistencias encendidas	
T1 (°C)	-14	-18	-14.2	-18.2	-15.4	-21.8
T2 (°C)	-38.7	-49.6	-37.9	-41.9	-37.4	-43.1
T3 (°C)	20.7	19.6	20.3	20.6	21.3	20.2
T4 (°C)	53.5	47.2	51	66.3	60.9	67.1
T5 (°C)	34.7	23.5	34.2	27.7	42.6	25.8
T6 (°C)	27.1	20.8	26.9	23.1	30.5	24.4
T7 (°C)	7	9.9	7.3	7.9	6.4	6.7
T8 (°C)	-38.8	-49.7	-38	-42	-37.5	-43.2
T9 (°C)	24.7	20.3	23.5	23.7	25.3	22.6
T10 (°C)	30.9	23.2	30.5	26.7	32.1	25.4
T11 (°C)	24.9	21.9	24.6	24.5	25.7	23.3
T12 (°C)	51.9	47.6	50.1	69.2	60.3	71
P1 (PSI)	197	170	195	190	200	180
P2 (PSI)	23	15	25	20	25	20
P3 (PSI)	20.7	12.5	21.5	17	22	17
P4 (PSI)	192.7	170	191.7	185	200	185
P5 (PSI)	197	170	195	190	200	180
Caudal H2O(ml/s)	NO	2.6	NO	2.6	NO	2.6

Ejemplo de comportamiento del ciclo termodinámico bajo uno de los regímenes de trabajo del equipo corresponden al comportamiento de un ciclo de refrigeración por compresión de vapor.

Figura 2. Ciclo termodinámico para cuando el banco de pruebas funciona con dos resistencias prendidas y el condensador anexo se encuentra encendido.



Donde el análisis de cada uno de los puntos de entrada y salida de cada elemento: Compresor, Condensador, Válvula de expansión, Evaporador y Condensador anexo.

Mediante el cálculo de la porción de energía de entrada y salida para cada uno de los elementos antes mencionados se procede a calcular sus eficiencias energéticas.

Y a través del análisis del flujo de exergía interna del ciclo se procede primero al análisis de las irreversibilidades en cada uno de los procesos y posteriormente al cálculo de las eficiencias exergéticas para cada uno de los casos

Donde los valores comparativos de ambos análisis para el mismo ciclo termodinámico dentro de las mismas condiciones de trabajo fueron las siguientes:

Tabla 2: Eficiencias Energéticas vs Eficiencias Exergéticas.

EFICIENCIAS ENERGIA VS EXERGIA		1	2	3	4	5	6
EVAPORADOR	ENERGÍA	14.7%	23.2%	38.2%	48.2%	22.5%	18.4%
	EXERGÍA	12.2%	15.3%	31.5%	30.0%	15.4%	10.5%
CONDENSADOR ANEXO	ENERGÍA	-	9.1%	-	4.7%	-	1.7%
	EXERGÍA	-	5.127%	-	2.561%	-	0.878%
CONDENSADOR	ENERGÍA	27.5%	44.6%	25.7%	32.6%	27.2%	33.7%
	EXERGÍA	21.1%	40.7%	19.5%	19.2%	20.4%	28.1%
COMPRESOR	ENERGÍA	66.6%	73.9%	69.7%	56.9%	67.8%	54.7%
	EXERGÍA	46.4%	49.4%	61.0%	49.2%	62.6%	52.6%

CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES

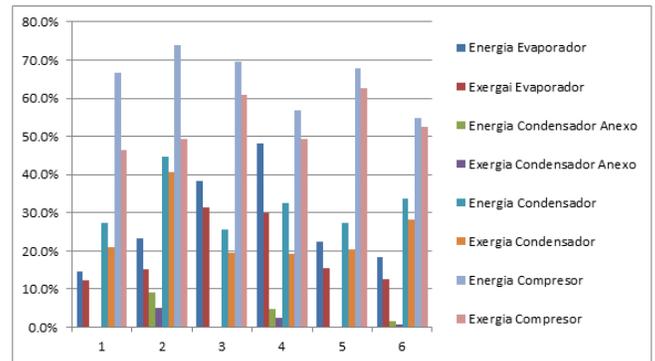
A simple vista se observa que al momento de comparar los resultados tenidos en un análisis Energético vs. Exergético, en el segundo caso son de mayor precisión y arrojan un desempeño más acercado a la realidad ya que en él se considera las diferentes pérdidas propias de un proceso térmico.

Posteriormente al realizar un proceso de análisis de los resultados obtenidos se determinó que dentro de

todos los procesos del ciclo termodinámico de refrigeración que los elementos menos eficientes para ambos análisis eran: el evaporador y los dos condensadores debido a que dentro de su rendimiento sufría mucha pérdidas propias al principio de transferencia de calor al medio, además los dos dispositivos más eficientes para ambos casos fueron los que presenciaron el compresor cuasi adiabático y la válvula de expansión mecánica.

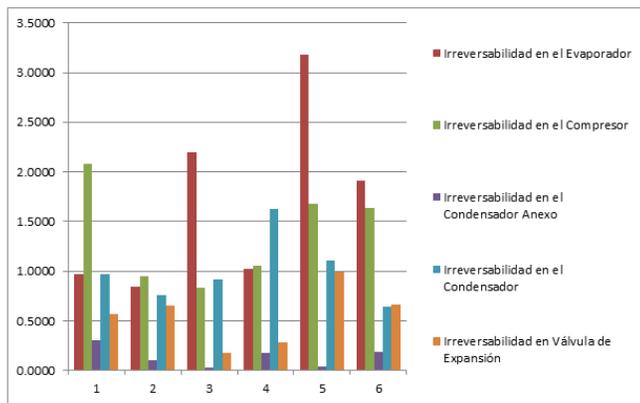
En el caso de la válvula de expansión fue la más eficiente de todas ya que al realizar un análisis más exhaustivo de su comportamiento bajo los diversos parámetros de funcionamiento se demostró que el dispositivo absorbía calor del medio(análisis del efecto de Joule-Thomson para elementos de expansión isoentálpica) por lo que si el análisis exergético basado en el comportamiento del flujo de calor interno, el dispositivo casi no desprendía calor lo que ocasionaba una disminución de su eficiencia térmica.

Figura 3. Gráfica comparativa de eficiencia energética vs eficiencia exergética para cada uno de los componentes.



Como sustento al análisis exergético del rendimiento de cada uno de los componentes, el análisis de las irreversibilidades nos permiten dar sustento a los resultados obtenidos en los diferentes análisis de desempeño exergético.

Figura 4. Grafico representativo de las irreversibilidades para cada uno de los diferentes dispositivos del banco de pruebas.



Donde se corrobora que para el ciclo el elemento con menos irreversibilidades es la Válvula de expansión y el con la mayor cantidad de irreversibilidades en su proceso el del evaporador.

Mientras mayor la complejidad del análisis de pérdidas e irreversibilidades permitirá acercarnos a la comprensión real del fenómeno térmico y su real desempeño partiendo de sus variables externas he ahí la versatilidad del análisis exergético para muchos ejemplos prácticos dentro del análisis de los fenómenos térmicos y mecánicos.

La importancia de realizar un análisis exergético en un ciclo térmico o en cualquier ciclo vinculado a la producción, es que al conocer la destrucción de entropía y la generación de irreversibilidades en cada uno de sus procesos, se puede desarrollar un método el cual disminuya esas irreversibilidades buscando así la mayor eficiencia del ciclo y así tener un cierto equilibrio en el desempeño global del ciclo, si esto se ve reflejado en un análisis económico, su importancia radica que permitirá

conocer a ciencia cierta donde existe una fuga de eficiencia y de esta manera controlar el rendimiento económico. Minimizando el gasto y las pérdidas, y aprovechando al máximo la capacidad instalada de cualquier ciclo de producción.

BIBLIOGRAFÍA

Yunus Cengel, Michael Boles. (2010), *Termodinámica. 7ma edición.* México: Mc Graw Hill

Wark Kenneth jr. (1991). *Termodinámica. 2da edición.* México: McGraw-Hill.

Thomas Engel. (2007). *Introducción a la Fisicoquímica Termodinámica. 1ra edición.* México: Pearson Educación.

Andrea Orellana Abreu. (s.f). *Análisis Exergético de Bienes de Equipo.* España: Escuela superior de Ingeniería Industrial de Barcelona

Kenneth Wark. (s.f.). *Termodinámica. 6ta edición.* España: McGraw Hill

Roy J. Dossat. (2009). *Principios de Refrigeración. 8va edición.* México: Patria

Incropera, F. P., & De Witt, D. P. (1999). *Fundamentos de Transferencia de Calor 4a. ed.* México: Prentice Hall.