

Simulación y Comparación Energética de un Sistema de Enfriamiento por Ciclo de Absorción

Mireles J. Damián U., Herrera S. Manuel, Murillo V. Ismael, León V. Rafael, Oroz G. Gilberto

Simulation and Energetic Comparison of a Cooling System based on Absorption Cycle

Abstract— At present, the main equipment related to electric power consumption are those that use systems of mechanical compression, which generally are presented as refrigerators, air conditioned units, chillers, among others. In counterpart, the application of cooling equipments that use absorption cycle are a feasible alternative to reduce the consumption and turnover of electric power. In 1930, the Icyball was created by Powell Crosley Jr.. The Icyball is a type of non-continuous absorption cycle, that needs to be reloaded manually, subsequent to it, releases the cooling amount which it was designed. The proposal is a model that supports the production of a continuous cooling cycle using the Icyball unit. This model allows the energetic comparison of a refrigeration system based on absorption cycle against a refrigeration system based on mechanical compression. The calculation of energy wasted in the components of the system is realized by means of the energy balance method, where the energy levels depend on the thermodynamic state conditions of the working fluid. On this basis, it is possible to realize an energetic comparison between this model and the refrigeration system based on mechanical compression, by using conversions of already existing units, and simulation of change conditions in the working fluid through I/O components (generator and evaporator) that allow to evaluate the energy equivalence from one refrigeration system to another.

Keywords —Absorption cycle, simulation, energetic comparison.

Resumen— En la actualidad los equipos que generan mayor consumo y facturación de energía eléctrica son aquellos que utilizan sistemas de compresión mecánica activados por fuente de energía eléctrica, los cuales generalmente están presentes en refrigeradores, aires acondicionados, enfriadores de agua, entre otros. En contra parte, la aplicación de equipos de enfriamiento utilizando ciclo de absorción es una alternativa factible para disminuir el consumo y facturación de energía eléctrica. En 1930 Powell Crosley, Jr. fabricó un equipo de enfriamiento denominado Icyball, el cual trabaja con

Manuscrito recibido el 6 de Julio 2010. Este trabajo fue respaldado por el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica del Instituto Tecnológico de Sonora, la Coordinación de Gestión y Apoyo a Cuerpos Académicos, apoyo interno (PROFAPI 0037), y apoyo externo del Fondo Sectorial CONAVI-CONACYT (CONAFOVI 2008-01-106608).

Mireles Juárez Damián U. es Ingeniero Electricista y pasante de Maestría en Ciencias en Energía. Profesor Auxiliar en el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica en el Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON), Ave. Antonio Caso S/N, C.P. 85132, Col. Villa ITSON; Ciudad Obregón, Sonora, México; Tel/Fax: (644) 4109001. (e-mail: dakme24@hotmail.com)

Herrera Sarellano Manuel., I. Murillo Verduzco y R. León Velázquez son Profesores Tiempo Completo en el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica del Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON).

Oroz Galaviz Gilberto es Profesor Tiempo Completo en el Departamento de Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON).

un ciclo de absorción intermitente, de tal manera, que tiene que ser reiniciado en forma manual después que realiza la cantidad de enfriamiento para la cual esta diseñado. La propuesta es un modelo que ayude a producir un ciclo termodinámico continuo utilizando como base la unidad de enfriamiento Icyball, y que permita la comparación energética de un sistema de refrigeración por ciclo de absorción contra un sistema de refrigeración por compresión. La cantidad de energía en cada uno de los elementos del sistema, se cuantifica por medio de las ecuaciones de balance energético, describiendo los niveles de energía cuyas magnitudes varían dependiendo de las condiciones de estado termodinámico en el que se encuentre el fluido de trabajo (par refrigerante). Con esto, es posible realizar una comparativa contra un sistema de refrigeración por compresión, utilizando conversiones de unidades ya existentes, e inclusive una simulación de los cambios de estado en los componentes de entrada y salida (generador y evaporador) que permita evaluar el equivalente en energía de un sistema de refrigeración por absorción con uno de compresión mecánica.

Palabras clave— ciclo de absorción, simulación, comparación energética.

I. INTRODUCCIÓN

Los ciclos de absorción se han utilizado por más de 100 años [1], antes de la disponibilidad de los compresores confiables de vapor, el ciclo de la absorción pertenecía a un número relativamente pequeño de las tecnologías disponibles para las necesidades de fabricación de hielo.

El sistema de enfriamiento por absorción, al igual que en el sistema de enfriamiento por compresión, se aprovecha que ciertas sustancias absorben calor al cambiar de estado líquido a gaseoso [8].

Los sistemas de absorción se diferencian por el tipo de refrigerante y de absorbente químico que utilizan [2]. Se refieren éstos como "par de trabajo", cuyo caso es amoníaco con agua, el amoníaco como refrigerante y el agua como absorbente [3]. En el mercado actual, la tecnología del amoníaco se utiliza principalmente en grandes compañías de refrigeración (congeladora de mariscos, hortícolas y fabricas de hielo).

Una impresión general de las características principales de la tecnología de refrigeración por absorción se puede obtener por la comparación con la tecnología más común de la refrigeración de la compresión del vapor. El enfriamiento se genera por el consumo de energía que se utiliza para evaporar un líquido. Si el líquido se encuentra confinado en un depósito aumentará su temperatura, al ceder su contenido energético (calor latente de evaporación) [4] [5].

En base a esta tecnología, en 1930, Powell Crosley, Jr. fabricó un equipo de enfriamiento denominado “Icyball”, el cual trabaja con un ciclo de absorción intermitente, debido que al estar transcurriendo las horas, la temperatura va incrementando [6], para posteriormente de haber acabado el enfriamiento tenga que ser reiniciado manualmente para generar un nuevo ciclo. Cabe mencionar que el sistema puede ser activado con la quema de un combustible, carbón, leña u otras fuentes de calor, incluyendo energía térmica, solar.

Algunos de los proyectos de esta índole en México, han sido desarrollados por la UNAM y el Instituto de Investigaciones Eléctricas, que fue un sistema de aire acondicionado por ciclo absorción para 6 viviendas, en Mexicali, Baja California, utilizando como fuente de calor, energía solar térmica, y par refrigerante bromuro de litio-agua, donde cabe mencionar todas las viviendas incorporaban elementos pasivos para la reducción de carga térmica, y se redujeron 7kW de los 18kW de carga térmica con este sistema [22].

Por otro lado, se han realizado otras investigaciones en la misma zona del país, dirigidos por Comisión Federal de Electricidad y el Instituto de Investigaciones Eléctricas, el cual comprende el análisis de una bomba de calor para refrigeración y aire acondicionado por absorción de calor, utilizando como fuente de calor energía geotérmica [23].

En la actualidad el sistema de refrigeración y aire acondicionado que utiliza ciclo de absorción, existe en ciertas cantidades las cuales son; o demasiado pequeñas que están presentes en refrigeradores de 20 a 50 litros, o grandes que son máquinas que van desde 170 a 4850 kW, las cuales se utilizan para la fabricación de grandes toneladas de hielo. El mercado de estos sistemas no cubre la necesidad de la climatización de vivienda [20] [21], por tal motivo se desarrolla esta investigación en base a dicha oportunidad.

La propuesta de un modelo que consiste en el diseño de un condensador – absorbedor, elementos que ofrecen disipar la energía térmica tanto del refrigerante como del absorbente, ayudando en si a mantener un ciclo constante en el sistema [7].

El tener un ciclo termodinámico en un sistema de enfriamiento permite obtener la ecuación de balance energético, esto se puede hacer conociendo los parámetros de temperatura, presión, entalpías y flujo másico de entrada y salida del refrigerante, o de cada uno de ellos según sea el elemento del sistema que se este analizando. De esta manera, la cantidad de energía se cuantifica y se hace una comparativa energética, logrando equivalencia entre el sistema de enfriamiento por absorción que se presenta contra un sistema de enfriamiento por compresión convencional, utilizando conversiones de unidades ya existentes, e inclusive una simulación de los cambios de estado en los componentes de entrada y salida (generador y evaporador). La metodología que utilizada, toma en cuenta las gráficas del punto de estado para un par de trabajo amoniaco-agua

La cantidad de energía obtenida para el intercambio de calor es aproximadamente $\frac{3}{4}$ de tonelada de refrigeración, bajo consideraciones de estado estable. La importancia de los resultados radica en el desarrollo de un sistema funcional (prototipo) dimensionando su escala ya sea para la climatización de vivienda o simplemente la conservación de alimentos, sin

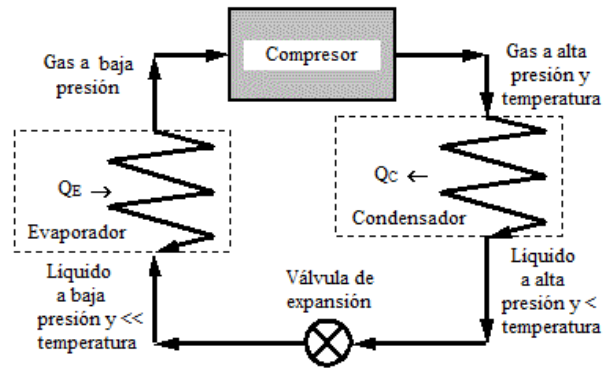


Fig. 1 Ciclo de refrigeración por compresión simple [12].

dejar de señalar que la tendencia de este tipo de sistemas es la utilización de la energía térmica solar.

Para comprender la metodología que se va desarrollando es necesario entender el funcionamiento de los sistemas de refrigeración, tanto por compresión mecánica como el de absorción, e inclusive conocer la equivalencia de uno con el otro a través de los componentes que los conforman.

II. PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DEL CICLO DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN Y ABSORCIÓN

A. Sistemas de refrigeración por compresión

La figura 1 muestra el ciclo de refrigeración por compresión simple, donde se emplean cuatro elementos en el ciclo de refrigeración: compresor, condensador, válvula de expansión y evaporador.

El compresor realiza la succión de los vapores que salen del evaporador, comprimiéndolos de tal manera que estos lleguen al condensador a una temperatura y presión alta.

A la llegada del condensador, los vapores cambian de estado, cediendo su energía latente a un medio externo, de tal manera, que los vapores pasan a ser líquidos a la salida con una presión alta y temperatura baja con respecto a la entrada del mismo.

A su paso por el orificio calibrado de la válvula de expansión, el líquido experimenta una caída de presión provocando. Por una parte, su evaporación parcial y, por la otra, el enfriamiento hasta la temperatura de evaporación del líquido restante. La expansión del fluido es una expansión isoentálpica, en el curso de la cual la cantidad de calor total contenida en el líquido antes de la válvula y dentro de la mezcla líquido-vapor a su paso por el orificio, no ha variado; ha ocurrido solamente la transferencia de energía y la modificación del estado físico del fluido.

La mezcla líquido-vapor expansionado entra al evaporador, en este, la mezcla de vapor líquido absorbe la cantidad necesaria de calor latente de un medio externo, para convertirse totalmente en vapor, la presión se mantiene constante durante todo el proceso de evaporación, por la succión del compresor de los vapores producidos.

TABLA I
COMPARACIÓN DE ELEMENTO POR ELEMENTO DE LOS SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO POR COMPRESIÓN Y ABSORCIÓN.

Compresión	Absorción
Condensador	Condensador
Válvula de expansión	Válvula de expansión
Evaporador	Evaporador
Succión	absorbedor
Compresión	Bomba de absorbedor
Suministro de amoniaco	Generador

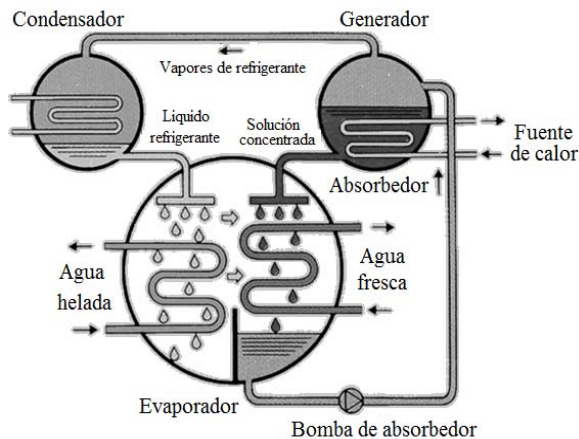


Fig. 2 Principio de una unidad de absorción de simple efecto, [13].

III. SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN POR ABSORCIÓN

Cuando existe una fuente de energía térmica barata, es decir una fuente de energía de fácil acceso (ejemplo: energía solar), a una temperatura entre 100 y 200 °C los sistemas de refrigeración por absorción son bastante atractivos. Algunos ejemplos de fuentes de energía térmica barata incluyen la energía geotérmica, la solar, el calor de desecho de la cogeneración o de plantas de vapor de proceso, e incluso el gas natural cuando está disponible a un precio relativamente bajo.

Los ciclos de absorción requieren al menos dos sustancias de trabajo, una absorbente y un fluido refrigerante. Dada ésta limitación, muchas combinaciones no son alcanzables. Uno de los sistemas de refrigeración por absorción más utilizado es el sistema de amoniaco-agua, donde el amoniaco (NH_3) sirve como refrigerante y el agua (H_2O) como medio de transporte. Otros sistemas de refrigeración por absorción son los de agua-bromuro de litio y de agua-cloruro de litio, en los que el agua sirve como refrigerante [14]. Los últimos dos sistemas se limitan al uso de acondicionamiento de aire en los que la temperatura mínima está por arriba del punto de congelación del agua.

En la Figura 2, la mezcla del par refrigerante amoniaco-agua se encuentran ubicados dentro del depósito llamado generador, al cual se le aplica una fuente de calor externa, ocasionando que incremente la temperatura y la presión de la mezcla, de tal manera que el amoniaco se separa del agua convirtiéndose en



Fig. 3 Unidad de enfriamiento Icyball [6].

vapor, este viaja hacia el rectificador el cual actúa como una especie de trampa donde separa las pocas partículas de agua.

El amoniaco viajará en forma de vapor hacia el condensador lo más puro posible, a una temperatura alta y presión alta. De manera que antes de llegar al condensador existe una válvula la cual manipula la presión, haciendo una reducción de la misma para ayudar al fluido que reduzca su temperatura, este se enfría y condensa en el condensador al ceder calor hacia un medio externo.

Antes de que el amoniaco entre al evaporador su presión es reducida por una válvula de expansión, de tal forma que entre al mismo a una presión y temperatura baja, en estado líquido. En el evaporador se hace la transferencia de calor entre el Amoniaco y la sustancia u objeto a refrigerar, que por lo regular es agua.

A medida que va sucediendo la transferencia de calor el amoniaco alcanza una temperatura tal que este empieza a evaporarse de manera que en ese estado viaja al absorbedor, donde se mezcla con el agua que fue separada en el rectificador, al suceder esto, el agua absorbe al amoniaco volviendo en sí la mezcla del par refrigerante.

Finalmente, una vez que se haya efectuado la absorción, la mezcla es tomada por una bomba mecánica la cual lleva la mezcla hacia el generador donde se reinicia el ciclo [3].

Existen sistemas de absorción de simple, doble, triple efecto y más. Los cuales se diferencian entre sí, debido al aprovechamiento del calor rechazado en ciertas etapas para el uso en otras partes del mismo ciclo [9].

Analizando cada parte de los dos sistemas se tiene la siguiente relación que muestra la equivalencia de los equipos que forman cada sistema, la cual se puede ver en la tabla I.

La energía suministrada al sistema, consiste en la energía cedida en la bomba mecánica, y en la energía calorífica necesaria para hacer hervir y evaporarse el amoniaco en el generador [5].

IV. SISTEMA DE ENFRIAMIENTO POR CICLO DE ABSORCIÓN

A. Modelo físico de la Icy ball

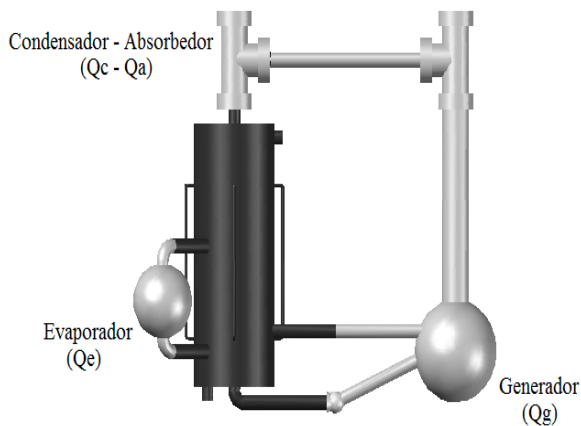


Fig. 4 Condensador-absorbedor adaptado en unidad de enfriamiento.

Icyball [7].

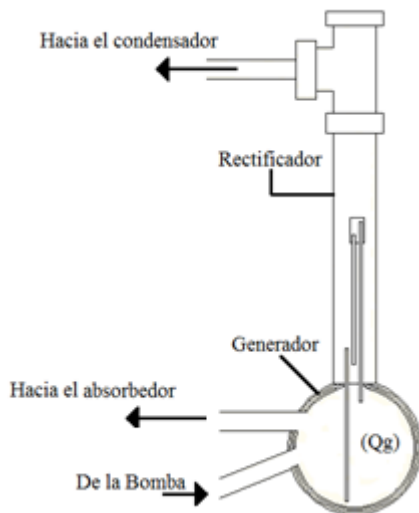


Fig. 5 Generador y rectificador [7].

La unidad de enfriamiento Icyball es tomado como base del proyecto, se muestra en la figura 3. El diseño del condensador-absorbedor se adaptará a él para generar el ciclo termodinámico.

El modelo físico representado en AutoCAD de la figura 4, es con el objetivo de mantener un ciclo que beneficie a la unidad de enfriamiento Icyball, el prototipo es diseñado tomando en cuenta que es sometido a constante humedad que permite disipar la energía térmica debido al requerimiento demandado por el proceso de condensación y absorción que se lleva a cabo en el interior del modelo.

B. Representación del ciclo termodinámico generado en la unidad "icyball"

La unidad de enfriamiento denominada Icyball, es un equipo de refrigeración que funciona por medio de la absorción para lograr el enfriamiento. En el generador la fuente de calor evapora la solución de amoníaco-agua, este mismo cuenta con un rectificador localizado en la parte superior del generador dentro de la trayectoria del tubo que conecta con el condensador-absorbedor, ver Figura 4 y 5, donde se reducen los pequeños

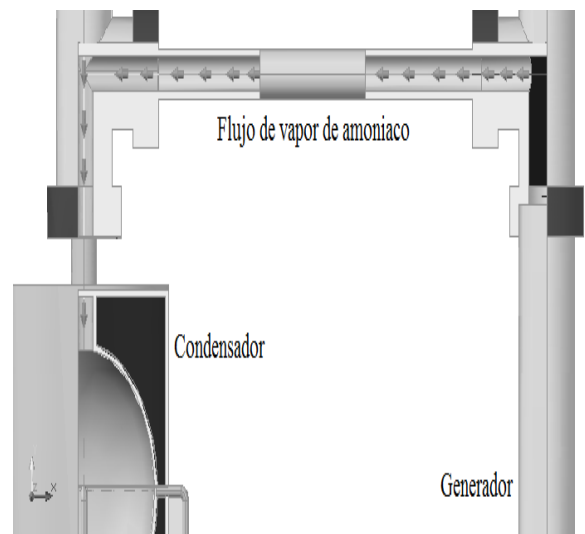


Fig. 6 Vapor de amoníaco hacia el condensador [7].

porcentajes de vapor de agua que logran evaporarse junto con los del amoníaco.

El agua tiene gran afinidad por el vapor de amoníaco mientras se encuentre a una temperatura ambiente, por lo cual deja al generador dirigiéndose al absorbedor (Q_a) reduciendo su presión a través de una válvula que separa el lado de alta presión del de baja presión, facilitando así la disipación de calor a la cual llega del generador (ver Figura 5).

Una vez en el condensador (Q_c) estos gases de amoníaco se condensan, facilitando el proceso el hecho de que el depósito que los contiene se mantiene sumergido en agua (ver figura 6). Originalmente Icyball no es un ciclo, por lo cual una vez transcurrido el enfriamiento, el sistema tenía que ser reiniciado en forma manual.

Ese es el motivo por el cual se agregaron los componentes de condensador-absorbedor y una bomba de circulación para que se generara un sistema de enfriamiento por absorción como un ciclo.

En el ciclo adaptado a la Icyball, en el condensador el amoníaco cede el calor y es por eso que cambia de estado, pasando enseguida al evaporador (Q_e) donde ahora tendrá la capacidad para absorber el calor del objeto o sustancia a enfriar, dado esto, se vuelve a evaporar el amoníaco y viaja al depósito llamado absorbedor (Q_a), donde el agua que fue separada en el generador absorbe al amoníaco y estos vuelven a mezclarse, posteriormente son enviados por la bomba de nueva cuenta hacia el generador (Q_g), es ahí donde se completa el ciclo, ver Figura 7.

C. Comparación energética del sistema de refrigeración por ciclo de absorción

Para efectos del cálculo en la unidad Icyball, se considera 0.851 litros de agua destilada y 1.040 litros de amoníaco. Considerando los puntos del diagrama de la figura 8.

El balance energético en el ciclo se puede escribir como se muestra en la ecuación (1), la cual representa la energía en cada uno de los componentes del prototipo [19] (para efectos de

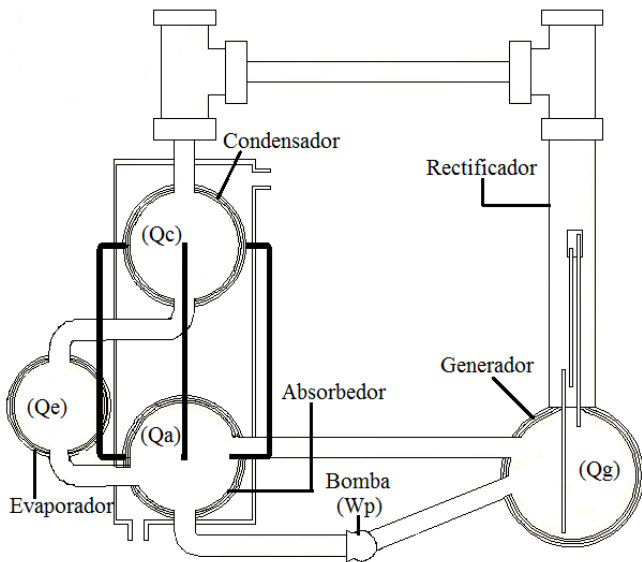


Fig. 7 Balance energético y esquematización de ciclo adaptado en Icyball [7].

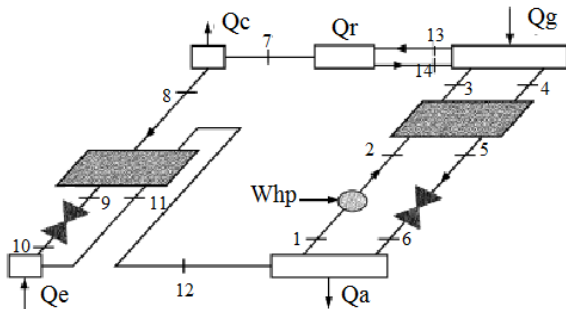


Fig. 8 Puntos de medición para un sistema de simple efecto amoniaco-agua [9].

TABLA II
CANTIDAD DE ENERGÍA PARA LOS DATOS DEL CICLO DE ABSORCIÓN AMONACO/AGUA [9].

Componente	Símbolo	Ecuación	Potencia (kW)
Evaporador	Q _e	m ₁₀ (h ₁₁ -h ₁₀)	2.86
Absorbedor	Q _a	m ₁₂ (h ₁₂ -h ₁)+m ₁ h ₁ +m ₆ h ₁	20.80
Condensador	Q _c	m ₇ (h ₇ -h ₈)	13.72
Generador	Q _g	m ₄ h ₄ +m ₃ h ₃ -m ₁₄ h ₁₄	39.31
Rectificador	Q _r	m ₇ h ₇	7.10
Bomba de Solución	W _{hp}	m ₁ (h ₂ -h ₁)	0.12

visualización se omite mostrar el desglose elemento por elemento de la ecuación, los cuáles se muestran en la tabla II).

TABLA III
PARÁMETROS DEL SISTEMA DE ABSORCIÓN AMONACO-AGUA DE SIMPLE EFECTO [9].

Puntos	H (kJ/kg)	M (kg/s)	P (kPa)	T (°C)	X (Fracción de NH3)
1	-075.8	0.100	270	035.0	0.41
2	-074.6	0.100	1337	035.1	0.41
3	0270.8	0.100	1337	097.0	0.41
4	0622.1	0.066	1337	162.6	0.11
5	0163.1	0.066	1337	057.2	0.11
6	0163.1	0.066	270	057.4	0.11
7	1485.3	0.036	1337	091.4	0.96
8	0178.2	0.001	1337	091.4	0.41
9	1405.7	0.034	1337	072.9	0.99
10	0158.5	0.034	1337	035	0.99
11	0074.2	0.034	1337	017.4	0.99
12	0074.2	0.034	270	-11.5	0.99
13	1264.4	0.034	270	007	0.99
14	1348.7	0.034	270	030.4	0.99
15	-030.9	0.100	1337	045	0.41

El balance energético está satisfecho dentro de la precisión de los parámetros dados en la tabla III.

$$Q_g + Q_c + W_p = Q_a + Q_e + Q_r \quad (1)$$

$$39.314\text{kW} + 2.8662\text{kW} + 0.12\text{kW} = 42.3\text{kW}$$

$$20.8\text{kW} + 13.72\text{kW} + 7.1\text{kW} = 41.62\text{kW}$$

$$42.3\text{kW} \approx 41.62\text{kW}$$

(El resultado obtenido del balance energético muestra un relativo equilibrio entre la igualdad)

El cálculo de la energía en cada uno de los elementos se reproduce por diferencia de entalpías de entrada y salida de cada uno de ellos (tabla III).

De la tabla II, en el evaporador del sistema de absorción la energía es Q_e=2.86 kW, y considerando que una tonelada de refrigeración equivale a 3.514kW.

Entonces al convertir el calor del evaporador, se obtiene 0.8149 toneladas de refrigeración, lo cual representa aproximadamente lo que se tiene en un evaporador de un aire acondicionado de ¾ de tonelada de refrigeración. Haciendo la misma comparativa con un enfriador de agua que existe en el mercado (capacidad de enfriamiento de 0.11kW, con una carga de 2 litros de agua a 10°C) [11], el sistema es aproximadamente equivalente a 26 equipos de estos en conjunto, o bien, a 3 refrigeradores de 10 pies cúbicos de enfriamiento. Considerando este como el alcance ideal del sistema en estado estable.

Para mantener una tonelada de refrigeración con un aire acondicionado por compresión tipo ventana, se necesitan 1.2 kW, aproximadamente [11]. En la región de sonora el costo de kW/hr en verano del sector doméstico es de \$2.46 y para el sector doméstico de alto consumo de \$3.00 [15]. La comparativa radica

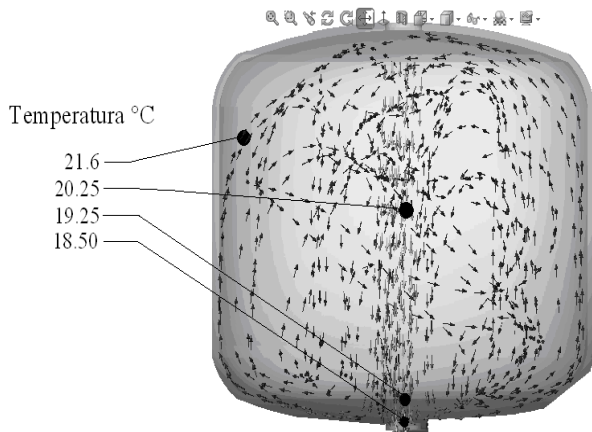


Fig. 9 Trayectoria y temperaturas del fluido en el evaporador [10].

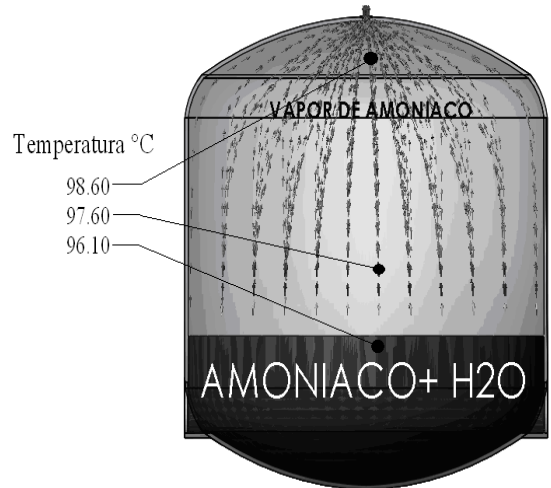


Fig. 11 Trayectorias y temperaturas del fluido en el generador [10].

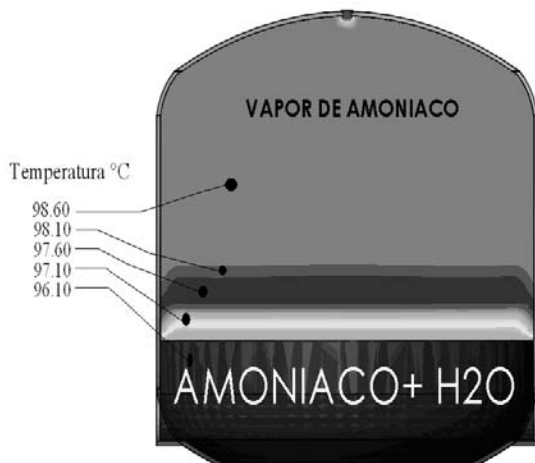


Fig. 10 Espectro de temperaturas del fluido en el generador [10].

TABLA IV
INTERVALO DE TEMPERATURAS EN EL EVAPORADOR DEL SISTEMA [10].

Temperaturas en °C	
Paredes del tanque	20.61
Fluido de entrada	20.05
Fluido de salida	18.92

en la posibilidad de obtener el mismo beneficio utilizando energía renovable, como lo es la energía térmica solar [24][16][17].

Los resultados para el balance energético del sistema de refrigeración por ciclo de absorción de simple efecto, fueron obtenidos en base al método de la ASHRAE [9], donde se toman algunas de las siguientes consideraciones:

- Sistema en estado permanente, sin cambios de presión, excepto en los reductores de caudal y de la bomba.
- En los puntos 1, 4, 8, 11 y 14 se tiene líquido saturado, en 12 y 13 vapor saturado, ver Tabla III.
- Los reductores de caudal son adiabáticos.
- No hay cambios de entalpía a través de la bomba.
- No hay pérdidas de calor y la mezcla de refrigerante es 50%.

D. Simulación del sistema de refrigeración por ciclo de absorción

El estudio que se hace en el evaporador con resultados de las ecuaciones energéticas [24], es ideal, debido a que se analiza

omitiendo ganancias térmicas del ambiente hacia el sistema [18]. Se observa la obtención de los resultados en el evaporador de la simulación [10], para una temperatura ambiente de 35°C y las presiones indicadas, ver intervalos en la tabla IV y el espectro en diferentes puntos del tanque en la figura 9. Lo cual indica que si habrá transferencia de calor en las paredes del mismo, debido a que la temperatura ambiente es mayor.

Para representar el ciclo de enfriamiento por absorción, se necesita aplicar calor al par de trabajo, en este caso amoniaco-agua, en el depósito llamado generador.

El amoniaco se evapora aproximadamente a 96°C, como se ilustra en la Figura 10. El amoniaco se separará de la mezcla debido a que su punto de evaporación es más bajo que el del agua, en la Figura 11, se puede observar las trayectorias y el desprendimiento del amoniaco del agua.

Entonces el amoniaco viaja a través de las tuberías, pasa por el proceso de condensado y después llegue al depósito del evaporador, donde pueda intercambiar calor con el objeto o sustancia a enfriar. En los sistemas de refrigeración por compresión el cambio de fase en el refrigerante se hace por medio de un compresor, cuya energía mecánica tiene un equivalente en energía calorífica para lograr ver mismo efecto, sin dejar de mencionar que el compresor es activado por una fuente de energía eléctrica.

E. Discusión de resultados

El diagrama esquemático del equipo térmico de referencia (Figura 8), presenta 14 puntos de medición debido al efecto regenerativo de los intercambiadores de calor con los valores

numéricos mostrados en la Tabla III. Al desarrollar el ciclo termodinámico para Icyball, se establece un modelo simplificado (Fig. 7) que no considera dicho efecto regenerativo y el análisis se realiza en 6 puntos de medición, cuya cantidad de energía para cada componente se presenta en la Tabla II y el balance energético del sistema se muestra en la ecuación (1).

Con los resultados propios de balance de energía, se sustenta un estudio de simulación por computadora para visualizar las trayectorias, la distribución de temperaturas y presiones del fluido de trabajo en la entrada y salida (generador y evaporador) del equipo térmico. Para definir la fuente de calor, se cuenta con el nivel de energía en el generador, por otro lado, se conocen los parámetros como temperatura y presiones en cada parte del sistema, las cuales servirán para la selección de tubería, válvulas y accesorios de control en el prototipo.

Posteriormente, se realiza un análisis entre el prototipo y equipo comercial de refrigeración existente en el mercado, tomando como base la demanda de energía total requerida para establecer un comparativo, así como la escala y el alcance del equipo térmico propuesto. El resultado es equivalente a un equipo de aire acondicionado de $\frac{3}{4}$ de tonelada de refrigeración.

V. CONCLUSIONES

El balance energético determina la capacidad del sistema y la simulación ayuda a definir los materiales así como sus dimensiones para resistir los esfuerzos a los que estará sometido en el estado permanente.

La comparación energética radica en encontrar la equivalencia de la cantidad de energía que se tiene en el evaporador de un sistema con respecto al otro.

Los sistemas de compresión son activados por medio de una fuente de energía eléctrica, por otro lado, el ciclo de absorción se activa con una fuente de calor, la oportunidad reside en la utilización del recurso renovable de energía térmica solar, cuyo impacto sería directamente en el consumo energía eléctrica, sin descartar el impacto que pudiera llevar a una disminución a la facturación de las mismas.

El presente estudio permitirá desarrollar un modelo funcional (prototipo) para evaluar su desempeño y dimensionar su potencial para cubrir la implementación en conservación de alimentos, o bien, en servicio de climatización en espacios habitables con abastecimiento de energía calorífica de fuente renovable.

Un sistema de enfriamiento por ciclo de absorción puede sustituir a uno por ciclo de compresión, debido a que es técnicamente factible generar un ciclo termodinámico de enfriamiento con una fuente de calor.

Los resultados del método ASHRAE ayudan a determinar una escala dependiendo de la necesidad de enfriamiento que se desee cubrir.

RECONOCIMIENTOS

El balance energético está satisfecho dentro de la precisión dada en la Tabla III [1], proporcionada por Natural Gas-Fired Cooling Technologies and Economics. Editores: Dharam V. Punwani, Dr. William A. Ryan PhD, David C. Kalensky. Donde contribuyeron para la realización de esta investigación: Prof. Keith Herold PhD The University of Maryland, Enrique de los Reyes Energy Systems Design Inc., Lew Arriman Mason-Grant

Consulting, Dharam V. Punwani Avalon Consulting Inc, Dr. William A. Ryan PhD University of Illinois at Chicago.

REFERENCIAS

- [1] http://www.GTI040205_Natural_Gas_Fired_Cooling_Technologies_and_Econ_sm.pdf
- [2] Faires Virgil M., Simmang Clifford M. (1983) Termodinámica, Sexta Edición, Editorial UTEHA, México.
- [3] Cengel Yunus, Boles Michael (2003), Termodinámica, Cuarta Edición, Editorial McGraw-Hill, México.
- [4] Dossat, Roy J. (1990) Principios de Refrigeración, Editorial CECSA, México primera edición.
- [5] Hernandez-Goribar, E. (2005) Fundamentos de Aire Acondicionado y Refrigeración, Editorial LIMUSA, México.
- [6] http://www.ggw.org/cac/IcyBall/Crosley_icyball (15-Sept-2009).
- [7] Luna López, J.L. (2007) "Enfriamiento por calor: Desarrollo del ciclo de enfriamiento en IcyBall mediante adaptación de un Condensador-Absorbedor" ITSON, Tesis de licenciatura, México.
- [8] <http://www.caloryfrio.com> (15-Sept-2009).
- [9] ASHRAE, Fundamentals handbook, SI edition, Thermodynamics and Refrigeration Cycles, 2005.
- [10] Solid Works 2008 (Paquete de software con post-procesador COSMOSFloWorks 2008).
- [11] www.reacsa.com.mx/pdf/enfriadores-agua/enfriadores-crt.p15 (15-Sept-2009).
- [12] www.fisicanet.com.ar/fisica/termodinamica/ap07_ciclos_termicos.php, octubre de 2009.
- [13] www.northeastchp.org .Imagen del ciclo de efecto simple de absorción. Fecha de consulta: Marzo de 2010.
- [14] ASHRAE, Fundamentals handbook, SI edition 2005, Thermophysical Properties of Refrigerants, 2005.
- [15] www.cfe.gob.mx/casa/ConocerTarifa/Paginas/Conocetutarifa.aspx, Junio 2010.
- [16] Development of a Simple Intermittent Absorption Solar Refrigeration System, J. K. Tangka and N. E. Kamnang, Department of Agricultural Engineering, University of Dschang, Cameroon, Africa, 2003.
- [17] Direct Expansion Solar Absorption Chiller Cooled by Air, Mahmoud Bourouis, Alberto Coronas, CREVER - Universitat Rovira i Virgili. Autovia de Salou, s/n. 43006, Tarragona (España), 2006.
- [18] Computer Simulation Optimization of Ammonia-Water Absorption Refrigeration System, Da-wen-sun, Department of Agricultural and food Engineering, University College Dublin, National University of Ireland, 1996.
- [19] Energy Analisis of an Ammonia-Water Absorption Refrigeration System, Ibrahim Dincer, Sadik Dost, Department of mechanical Engineering, University of Victoria, British Columbia, Canada, 1995.
- [20] www.bibing.us.es. Listado de marcas y capacidades de equipos de enfriamiento por ciclo de absorción..
- [21] www.coolmaxbar.com . Refrigeradores de 20 a 50 litros. Fecha de consulta: Abril de 2010.
- [22] Pilatowsky, I., Tanner, W., Haberd, F. and Obermair, F., Proyecto Sonntlan: "Investigación Aplicada y Desarrollo Tecnológico para la Utilización de la Energía Solar Parte II. Casas Solares Mexicali", en 1992.
- [23] ["Investigación y desarrollo tecnológico sobre bombas de calor en México operando con energía geotérmica", Alfonso García Gutiérrez, Rosa María Barragán Reyes y Victor Manuel Arellano Gómez. Publicado, en 2007.
- [24] Refrigeración solar en la edificación: presente y futuro, Universidad Internacional de Andalucía. Jornadas de calidad energética y medioambiental en edificios. La calidad de instalaciones térmicas: máquinas de absorción. Baeza 15/03/2004, Marcelo Izquierdo Millán.
- [25] Instalaciones de refrigeración solar por absorción: análisis y simulación dinámica, Xavier García Calals, Universidad Pontificia Comillas, ETSII del ICAI, Departamento de Fluidos y Calor, Madrid, España, en 2004.

NOMENCLATURA

- h** entalpia kJ/kg .
m Flujo masico,kg/s.
P Presión en kPa.
Q potencia en kW.
T Temperatura, °C .

X Concentración de Refrigerante en solución, kg/kg.

W_{hp} Trabajo de Bomba en kW.

Subíndices

a Absorbedor.

e Evaporador.

g Generador.

c Condensador.

r Rectificador.

1-15 Puntos.



Damián Ulises Mireles Juárez nació el 20 de octubre de 1983, en Guaymas, Sonora Mexico. Egresado del Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON), como Ingeniero Electricista en 2006. Actualmente Pasante de Maestría en Ciencias de la Energía: opción Energía eléctrica. El labora como docente auxiliar en ITSON en el Departamento de

Ingeniería Eléctrica y Electrónica, en Ciudad Obregón, Sonora, México. dakme24@hotmail.com.



Manuel Herrera Sarellano egresó de la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Azcapotzalco en 1990 como Ingeniero Mecánico, obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Sistemas de Manufactura del ITESM-CEM en cooperación con The University of Texas at Austin en 1994. Realizó estudios de

Doctorado en Ingeniería de Manufactura en The University of Nottingham, UK (candidato PhD). De 1990 a 1993 laboró en la División de Graduados e Investigación del ITESM-CEM en el Área de Manufactura Flexible. De 1994 hasta Abril 2009 se desempeñó como Profesor de Tiempo Completo del Instituto Tecnológico de Sonora en el Departamento de Ingeniería Industrial Área de Manufactura. Desde Abril 2009 a la fecha colabora en el Área Mecánica del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la misma Institución. mherrera@itson.mx, manuel.herrera@itson.edu.mx.



Ismael Murillo Verduzco egresó de la Universidad Autónoma de Nuevo León en 1989 como Ingeniero Mecánico Electricista, obtuvo el grado de Maestro en Ingeniería en el Área Mecánica de la Universidad Nacional Autónoma de México el 2 de julio de 2004. Desde 1991 hasta la fecha se ha desempeñado como Profesor de Tiempo

Completo del Instituto Tecnológico de Sonora en el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. imurillo@itson.mx, Ismael.murillo@itson.edu.mx.



Rafael León Velázquez egresó de la Universidad Autónoma de Nuevo León en 1988 como Ingeniero Mecánico Electricista, obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Eléctrica en la Universidad Autónoma de Nuevo León en julio de 1997. Desde 1989 hasta la fecha se ha desempeñado como Profesor de Tiempo Completo del Instituto Tecnológico de

Sonora en el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. rleon@itson.mx, rafael.leon@itson.edu.mx.



Gilberto Oroz Galaviz egresó del Instituto Tecnológico de Culiacán en 1990 como Ingeniero Industrial Mecánico, obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Sistemas de Manufactura del ITESM-CEM en 2000. De 2000 a 2002 laboró como Profesor Interino del departamento de Ingeniería Industrial de ITSON. Desde 2002 hasta la fecha se ha

desempeñado como Profesor de Tiempo Completo del Instituto Tecnológico de Sonora en el Departamento de Ingeniería Industrial. goroz@itson.mx, gilberto.oroz@itson.edu.mx