



Marzo 2018 - ISSN: 1696-8352

ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DE SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN Y ABSORCIÓN

ANALYSIS OF THE OPERATION OF COMPRESSION REFRIGERATION SYSTEMS AND ABSORPTION

Sayuri Monserrath Bonilla Novillo

Docente. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
Riobamba - Ecuador

Ingeniera Mecánica, Magister en Gestión Industrial y Sistemas Productivos
smbonilla@esepoch.edu.ec / sayitomonse@hotmail.com

Juan Carlos Castelo Valdivieso

Docente. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
Riobamba - Ecuador

Ingeniero Automotriz, Magister en Sistemas Automotrices
j_castelo@esepoch.edu.ec / juankar_telo@hotmail.com

Lenin Santiago Orozco Cantos

Docente. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
Riobamba - Ecuador

Ingeniero Mecánico, Magister en Eficiencia Energética
lsorozco@esepoch.edu.ec / leninomega6@hotmail.com

Edwin Ángel Jácome Domínguez

Docente. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
Riobamba - Ecuador

Ingeniero Mecánico, Magister en Eficiencia Energética
ejacome@esepoch.edu.ec / angel891611@hotmail.com

Para citar este artículo puede utilizar el siguiente formato:

Sayuri Monserrath Bonilla Novillo, Juan Carlos Castelo Valdivieso, Lenin Santiago Orozco Cantos y Edwin Ángel Jácome Domínguez (2018): "Análisis del funcionamiento de sistemas de refrigeración por compresión y absorción.", Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana, (marzo 2018). En línea:

<https://www.eumed.net/rev/oel/2018/03/sistemas-refrigeracion.html>

RESUMEN

La refrigeración es un proceso de extracción de calor que se basa en disminuir y mantener la temperatura de procesos productivos, espacios o incluso materiales con respecto a la temperatura del ambiente a su alrededor. Con este trabajo se pretende realizar una comparación del funcionamiento de los sistemas de refrigeración por compresión y absorción, además que se evaluarán máquinas frigoríficas que operan con estos sistemas de funcionamiento, es decir con ciclos de refrigeración por compresión de vapor y por ciclos de refrigeración por absorción de amoníaco-agua y bromuro de litio-agua. En lo que se refiere a la refrigeración por compresión de vapor se puede decir que este sistema realiza una gran cantidad de trabajo mecánico lo cual es recompensado con su rendimiento ya que puede generar bajas temperaturas a un costo relativamente bajo en comparación al sistema de absorción por bromuro de litio-agua, el cual no es capaz de generar temperaturas bajas, lo cual es esencial en un sistema de refrigeración. Para comprender el funcionamiento de estos

sistemas de refrigeración se debe tener en cuenta el principio de funcionamiento, los ciclos de refrigeración a los cuales se rige y el tipo de refrigerante a usar ya que dependen del tipo de refrigeración y aplicación.

PALABRAS CLAVES

Refrigeración, termodinámica, máquina frigorífica, refrigeración por absorción, refrigeración por compresión.

ABSTRACT

Refrigeration is a process of heat extraction. which is based on reducing and maintaining the temperature of productive processes, spaces or even materials with respect to the temperature of the surrounding environment. With this work we intend to make a comparison of the operation of refrigeration systems by understanding and absorption, as well as evaluating refrigeration machines that operate with these operating systems, that is to say with refrigeration cycles by vapor compression and refrigeration cycles by Absorption of ammonia-water and lithium-water bromide. With regard to vapor compression refrigeration, it can be said that this system performs a large amount of mechanical work which is rewarded with its performance since it can generate low temperatures at a relatively low cost compared to the absorption system. Lithium-water bromide, which is not capable of generating low temperatures, which is essential in a refrigeration system. To understand the operation of these refrigeration systems, the operating principle, the refrigeration cycles to which it is regulated and the type of refrigerant to be used must be taken into account, since they depend on the type of refrigeration and application.

KEY WORDS

Refrigeration, thermodynamics, refrigerating machine, absorption cooling, compression cooling.

1. INTRODUCCIÓN

La refrigeración es un proceso el cual consiste en eliminar o mantener la temperatura de procesos productivos, espacios o incluso materiales con respecto a la temperatura del ambiente a su alrededor.

En la actualidad la refrigeración tiene una gran variedad de aplicaciones y está inmiscuida en una serie de procesos industriales que van desde el sector alimenticio, construcción, química, medicina e incluso tratamiento de metales, convirtiéndose así en un proceso indispensable dentro del sector productivo.

Con el pasar del tiempo y la constante mejora de los sistemas de refrigeración, se establecieron dos principales tipos de refrigeración que son: la refrigeración por compresión y la refrigeración por absorción.

La refrigeración por compresión mueve la energía térmica entre dos focos; generando regiones con presiones altas y bajas confinadas en el evaporador, mientras sucede el intercambio de energía, el refrigerante se encuentra en un constante proceso de cambio de líquido a vapor, y viceversa. Tiene dos principales clasificaciones que son: El sistema de compresión simple que es el más utilizado, ya que es implementado en neveras, aire acondicionado, fábrica de hielo, entre otros.

El sistema de compresión múltiple que se caracteriza por obtener temperaturas más bajas, tiene una aplicación más industrial como en la siderurgia, medicina, industria alimenticia, etc.

La refrigeración por absorción está basado en un proceso mediante el cual para producir frío, aprovecha las propiedades de ciertas sustancias que tienen la capacidad de absorber el calor al pasar de estado líquido a gaseoso.

Este tipo de sistema ha tenido un importante crecimiento en su implementación en los últimos años, ya que tiene una gran ventaja desde el punto de vista ambiental, porque la refrigeración por absorción utiliza fuentes de calor residuales, solar o incluso fuentes de biomasa, en lugar de energía mecánica para suministrar bajas temperaturas, además que utiliza sustancias que no afectan a la capa de ozono.

Tiene las mismas aplicaciones que el sistema por compresión, pero en comparación tiene un bajo coeficiente de rendimiento, pero para compensar se han ideado sistemas híbridos, con el fin de satisfacer las necesidades y optimizar el sistema teniendo en cuenta la parte ambiental. De este modo, el objetivo de esta revisión es que llegue a comprender el funcionamiento de los diferentes tipos de refrigeración, su principio de funcionamiento, los refrigerantes más utilizados y las aplicaciones de los mismos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

En el desarrollo de este trabajo se aplicaron los siguientes métodos:

. Método de Análisis, se estudió de forma individual el funcionamiento del sistema de refrigeración por compresión y del sistema por absorción, con el fin de obtener las características y beneficios de cada uno.

. Método de Síntesis, una vez analizado el funcionamiento de cada sistema de refrigeración, se compiló toda la información para obtener un resultado total.

. Método Deductivo, a partir de la información general del funcionamiento de los sistemas de refrigeración por compresión y absorción obtenida de investigaciones con resultados válidos, se llegó a conclusiones particulares con respecto a cada uno de los sistemas.

La metodología aplicada es:

1. Recolección de la información

a. Se buscó información en diferentes fuentes bibliográficas y linkográficas en revistas científicas y tesis de postgrado.

Para la selección de los documentos bibliográficos se recurrió a varias fuentes documentadas de revistas científicas indexadas como son SCIELO, SCOPUS, SCIENCE DIRECT estas entre las más destacadas, también se tomó información de tesis de maestría, logrando así con esto tener un registro de 30 fuentes bibliográficas formales, todas ellas enfocadas en un tema central de revisión. Se eligió estas fuentes ya que cumplían con los parámetros de información necesaria sobre el tema de realización del artículo de revisión, además presentaban una estructura simple, facilitando así la lectura y comprensión del tema central de estudio.

2. Muestreo

La información encontrada fue recopilada de un total de 15 fuentes bibliográficas y linkográficas, los cuales tenían la información más relevante con relación al tema a analizar.

3. Análisis de la Información

Se procedió a realizar un análisis de cada una de las referencias bibliográficas y linkográficas encontradas, extrayendo la información más relevante en relación a los sistemas de refrigeración por compresión y absorción, considerando como aspectos importantes: funcionamiento, características, procesos termodinámicos, elementos que intervienen, beneficios, entre otros.

4. Evaluación comparativa

Se realizó una evaluación comparativa de los resultados obtenidos entre el sistema de refrigeración por compresión y por absorción.

3. DESARROLLO

3.1. REFRIGERACIÓN

Martínez, O. (2011) en su investigación define la refrigeración como cualquier proceso de eliminación de calor, más específicamente, como la rama de la ciencia que trata con los procesos de reducción y mantenimiento de la temperatura de un espacio o material a temperaturas inferiores con respecto a los alrededores correspondientes. Otra forma de definirlo sería como, el desarrollo en un espacio dado de temperatura menor que la que se tiene en otro espacio o en el espacio adyacente.

La refrigeración es empleada para la remoción de calor en las reacciones químicas, licuar gases de procesos, separar gases por destilación y condensación y la purificación de productos mediante la congelación de separación selectiva de un componente de una mezcla líquida. La refrigeración también es empleada para el acondicionamiento de aire en zonas de plantas industriales para el 'comfort', y en aplicaciones asociadas con procesos para el aprovechamiento térmico ambiental.

La refrigeración se basa primordialmente en dos principios básicos conocidos como la primera y la segunda leyes de la termodinámica. La primera de ellas establece que la energía no se crea ni se destruye. Si desaparece energía en una forma, debe reaparecer en otra, es decir, no puede aparecer energía en una manifestación sin que se registre una reducción correspondiente en otra de sus formas.

La refrigeración está definida como la ciencia o técnica de producir y mantener temperaturas por debajo de la temperatura atmosférica local, aplicando esto a objetos y alimentos. Para entender un poco más se hablará acerca del funcionamiento de las máquinas encargadas de producir estas temperaturas, para lo cual se toma como referencia lo que dice el autor (Bravo Méndez, 2011, pág. 19) "Una máquina térmica es el sistema que cede trabajo al medio intercambiando calor a través de sus fronteras de un modo cíclico. Este intercambio de calor lo hace con dos focos caloríficos, uno caliente y otro frío".

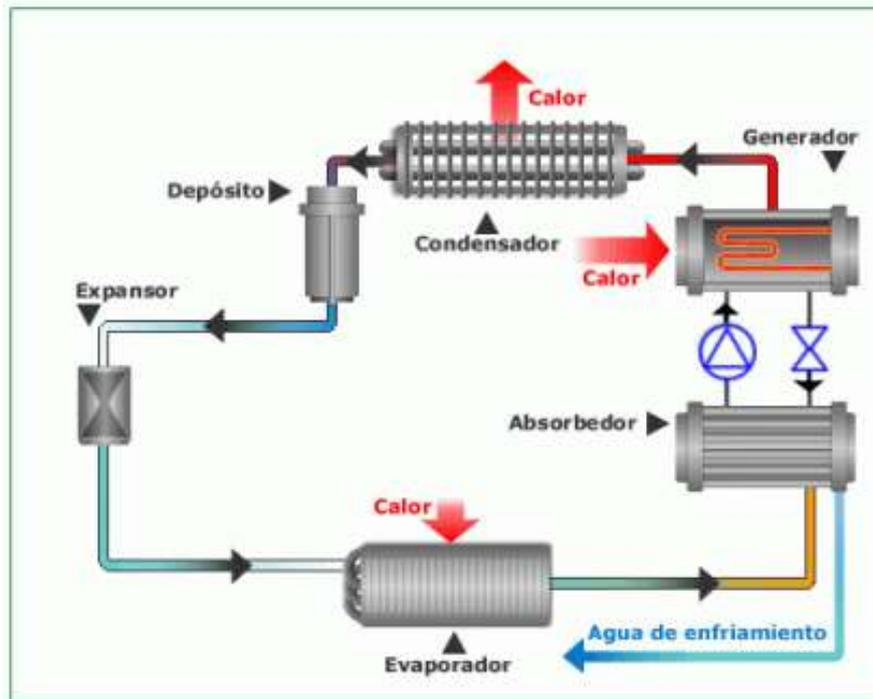


Figura 1. Sistema de refrigeración
Fuente: (Bravo Méndez, 2011)

En cuanto a una máquina frigorífica el mismo autor indica que la “máquina frigorífica es lo contrario que la máquina térmica. Al recibir trabajo del ambiente toma calor del foco frío y se lo cede al foco caliente. Por supuesto, tanto la máquina térmica como la frigorífica pueden funcionar entre varios focos.” (Bravo Méndez, 2011) Para tener una mayor idea del principio de funcionamiento de estas dos máquinas se puede observar las siguientes figuras.

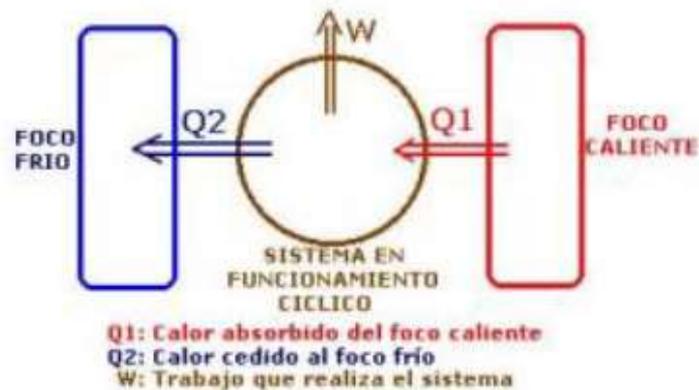


Figura 2. Sistema de funcionamiento de una máquina térmica
Fuente: (Bravo Méndez, 2011)

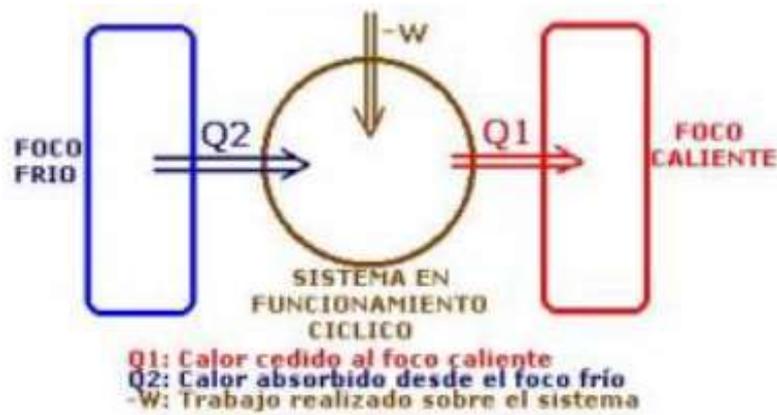


Figura 3. Sistema de funcionamiento de una máquina frigorífica
Fuente: (Bravo Méndez, 2011)

Las máquinas frigoríficas antes mencionadas reciben el nombre de refrigeradores, los cuales operan en ciclos de refrigeración por compresión de vapor y por absorción de amoníaco o bromuro de litio.

En las primicias de los sistemas de refrigeración mecánica, los equipos para producirla ocupaban grandes espacios, eran costosos, de alto consumo energético, de baja eficiencia y necesitaban servicio técnico continuo por lo que su aplicación se veía limitada solamente para industrias para las cuales la refrigeración era imprescindible, tales como plantas productoras de hielo, emparadoras de cárnicos, etc.

En la actualidad debido al avance tecnológico que ha desarrollado la humanidad, la refrigeración ha sido beneficiada, convirtiéndose en sistemas más eficientes de menor volumen y costo por lo que su campo de aplicación se ha extendido considerablemente; a continuación se describe algunos de los más importantes:

. Refrigeración Mecánica

Este tipo de refrigeración consiste en forzar mecánicamente la circulación de un fluido en un circuito cerrado creando zonas de alta y baja presión con el propósito de que el fluido absorba calor en un lugar y se disipe en otro. El efecto de la refrigeración se puede llevar a cabo por los ciclos de compresión de vapor.

Se puede describir este proceso que básicamente opera como lo indica el ciclo de Carnot: un fluido refrigerante en estado líquido, se fuerza a experimentar su evaporación debido a una baja de presión en el sector conocido como evaporador a donde además y fundamentalmente, toma calor del agua con la que indirectamente se pone en contacto. Es exactamente en ese lugar a donde se produce el enfriamiento propiamente dicho del agua. Ahora el agua sigue camino al proceso por su circuito y el refrigerante en estado de vapor es comprimido por un compresor obligándolo a recorrer el ciclo de refrigeración. Seguidamente el refrigerante, en estado de vapor, ingresa al condensador donde se convierte en estado líquido liberando el calor que sustrajo en el evaporador. El calor sale del refrigerante para pasar al aire ambiente por acción de unos ventiladores que fuerzan al aire a intercambiar con el refrigerante. (Martínez, O , 2011)

En resumen, en el evaporador, el agua se enfría (baja su temperatura) mientras que el refrigerante se calienta (se evapora sin cambio de temperatura) en la misma medida. Después, en el condensador, el refrigerante vuelve al estado líquido cediéndole calor al aire ambiente (que eleva su temperatura).

• Refrigeración comercial

Concierne todo lo referente a instalaciones frigoríficas para locales comerciales como hoteles, restaurantes, supermercados que se dedican a la venta o almacenamiento de productos perecibles.

- **Refrigeración industrial**

Los sistemas de refrigeración son utilizados en el sector industrial, en procesos de manufactura, se distinguen por ser de tamaño considerable y requieren asistencia técnica permanente.

- **Conservación de alimentos**

Es la aplicación más importante de los sistemas de refrigeración pues toda la población la requiere. En la mayoría de casos estos alimentos son producidos y procesados en zonas alejadas de la ciudad, por lo que es necesario conservar las características de los productos durante su traslado, distribución y venta.

- **Refrigeración doméstica**

Comprende lo referente a refrigeradores y congeladores de baja potencia que varían entre 1/20 y 1/2 hp y son de tipo sellado hermético. Es la aplicación de la refrigeración más conocida puesto que se la utiliza en todos los hogares.

3.2. TIPOS DE SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN

Los sistemas de refrigeración pueden ser por compresión o por absorción. El sistema por compresión es el más utilizado, puesto que el sistema por absorción solo se suele utilizar cuando hay una fuente de calor residual o barata, como en la trigeneración.

3.2.1. REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN

La refrigeración por compresión es muy utilizada en la actualidad en las refrigeradoras de uso doméstico. El principio de funcionamiento de este tipo de refrigeración en forma simple puede dividirse en cuatro operaciones. Evaporación, compresión, condensación y expansión.

El sistema de refrigeración de compresión de vapor simple consiste principalmente de cuatro partes compresor, condensador, válvula de expansión y evaporador. Y para reforzar lo antes mencionado se cita al autor (Jain, Sachdeva, & Kachhwaha, 2014) *“Los sistemas de refrigeración por compresión de vapor son comúnmente utilizados en una variedad de aplicaciones comerciales y de industrialización debido a su alta capacidad de refrigeración a baja temperatura, para que se ejecuten estos sistemas, se requiere energía de alto grado.”*

Una vez sabiendo el enfoque principal de este tipo de refrigeración se procederá a hablar de las partes principales de un sistema de refrigeración por compresión, para ello se hace referencia a (Dhakane & Joshi, 2014) *“Compresor: El compresor es parte básica del sistema de refrigeración. El trabajo del compresor es de comprimir el refrigerante desde la temperatura de evaporación a la temperatura de condensación. Condensador: Un condensador es un dispositivo o unidad que se utiliza para condensar una sustancia a partir de su estado gaseoso a su estado líquido, típicamente enfriándolo. El condensador es uno de los tipos de intercambiadores de calor utilizado para emitir el calor al medio de refrigeración. Evaporador: Este elemento es el encargado de retirar el calor del medio a refrigerar. Dispositivos de expansión: Los dispositivos de expansión se utilizan para expandir el refrigerante desde la*

presión de condensación a la presión de evaporación con etapas. Los dispositivos de expansión más utilizados son el tubo capilar y otro es válvula de expansión.”

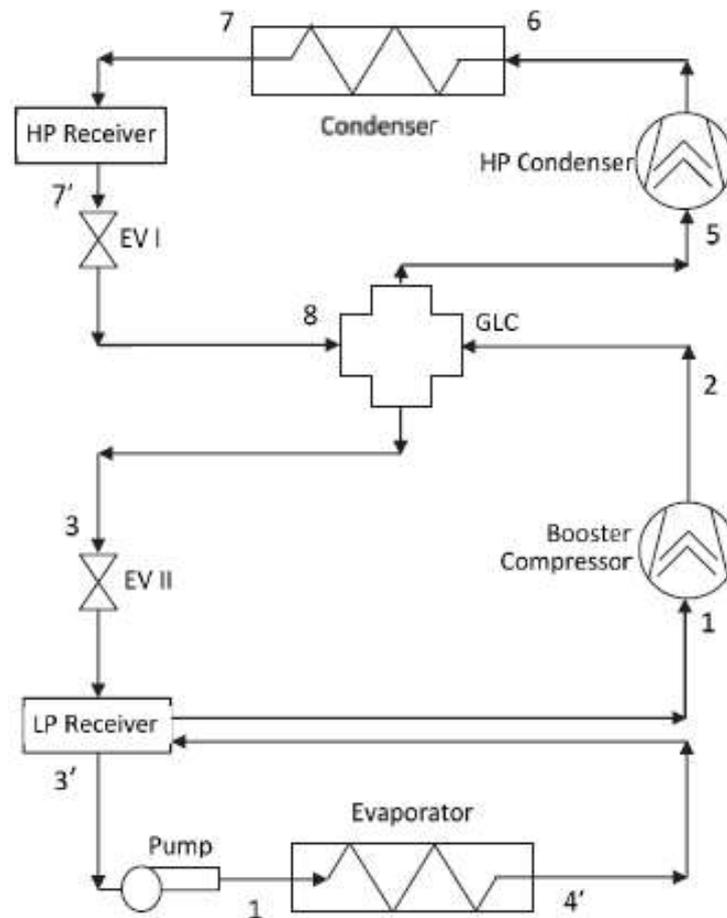


Figura 4. Sistema De Compresión
Fuente: (Surendra, Bhavesh, & Bhaumik, 2016)

En cuanto a lo que tiene que ver con su funcionamiento y para entender de mejor manera se hace referencia a (Samson & Echarri, 2004) “El funcionamiento del mismo se basa en comprimir un gas hasta licuarlo, eliminando el calor que se produce al ambiente por medio de un radiador. Luego de esto, el líquido obtenido se evapora en una cámara técnicamente aislada del ambiente, con lo que se obtiene el frío en dicha cámara.”

Conocido el principio de funcionamiento de la refrigeración por compresión nominal también se encontró otras formas de generación de frío por compresión de otra manera diferente como lo menciona (Omid, Shaharam, & Iraj, 2016) “Recientemente, las plantas han comenzado a usar un tercer tipo de sistema de refrigeración conocido como enfriamiento en seco. En lugar de utilizar agua para bajar la temperatura del ciclo de refrigeración, estos sistemas utilizan el aire que por uno o más ventiladores de gran tamaño. La ejecución de los ventiladores puede requerir una cantidad significativa de electricidad, lo que hace que este sistema sea menos adecuado para las grandes instalaciones que requieren una gran cantidad de vapor de agua, como los que funcionan con carbón o la energía nuclear.”

3.2.2. REFRIGERACIÓN POR ABSORCIÓN

La refrigeración por absorción es un sistema que implica la absorción de una sustancia refrigerante por medio de un medio de transporte, donde el sistema de refrigeración más utilizado es el sistema amoníaco-agua.

Para tener una mejor comprensión de este sistema se tomó como referencia a (Yi, Wei, Lull, & Hongguang, 2015) "El uso de un sistema de refrigeración por absorción es un camino prometedor para utilizar el calor residual de procesos industriales. El sistema de refrigeración de absorción de Amoníaco -agua se utiliza comúnmente para aplicaciones de congelación con temperaturas inferiores a 0 ° C. Cuando la temperatura de refrigeración es inferior a -30 ° C, el rendimiento disminuye dramáticamente".

Aparte del sistema amoniaco-agua también existe el sistema agua-bromuro de litio, en el cual el agua pasa a ser el refrigerante, el proceso de funcionamiento de este sistema lo explica el autor (Figeredo, 2013) "Al igual que en los ciclos de refrigeración por compresión mecánica de vapor, en el evaporador se produce el efecto frigorífico mediante la evaporación del refrigerante, agua en este caso, a baja temperatura (TE) y baja presión (P0) gracias al calor transferido desde el medio a enfriar. A continuación, el vapor de agua generado accede al absorbedor en donde es absorbido por una solución acuosa concentrada o rica en LiBr procedente del generador".

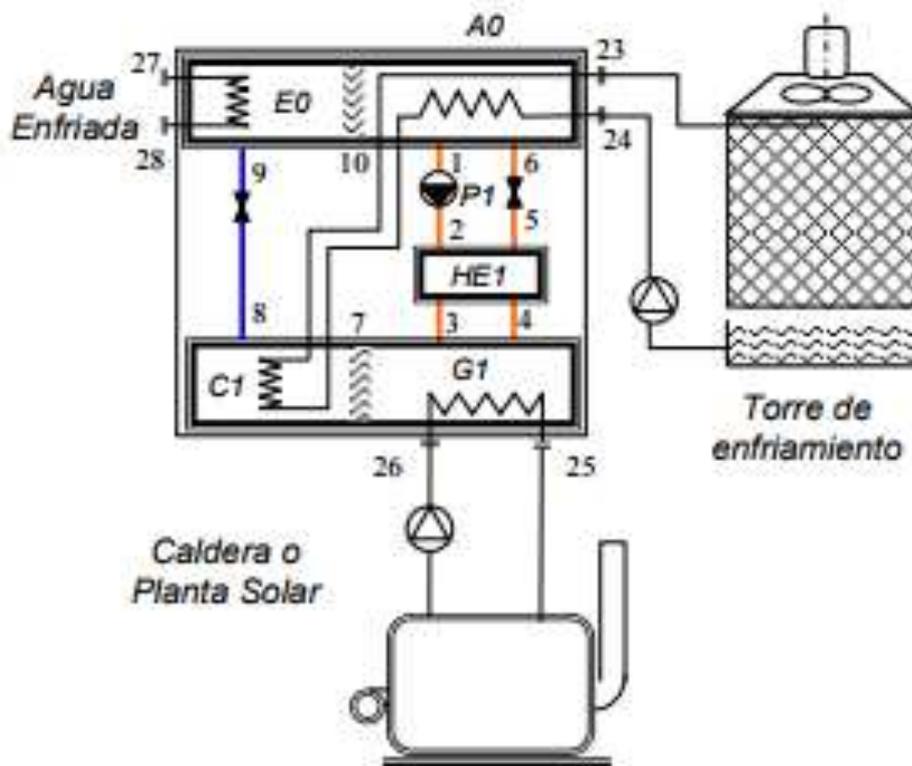


Figura 5. Sistema De Absorción
Fuente (Figeredo, 2013, pág. 37)

3.3. REFRIGERANTES

Se le denomina refrigerante a la sustancia o cuerpo que tiene la capacidad de absorber calor de otro cuerpo o sustancia con el fin de reducir la temperatura. Según (Vargas, 2013, pág. 14) "el refrigerante es el fluido de trabajo del ciclo el cual alternativamente se vaporiza y se condensa absorbiendo y cediendo calor, respectivamente."

Los refrigerantes varían de acuerdo al tipo de refrigeración, es decir para refrigeración por compresión de vapor y para refrigeración por absorción, debe tener ciertas características químicas, físicas y termodinámicas que garanticen satisfacer las necesidades para la cual será aplicada.

Para la refrigeración por compresión de vapor, los refrigerantes seleccionados deben cumplir con las siguientes características: No ser corrosivos, no ser inflamables, operables a baja presión, debe ser un gas estable, entre otras. Con el avance de la tecnología surgen nuevos

compuestos para refrigerantes que cumplieran con los requisitos los denominados hidrofluorocarbonados (HFC).

Los refrigerantes más usados son **R407C**, **R410**, **R 134A** y **R 404A** para equipos de refrigeración como aires acondicionados hasta plantas de congelación.

En sistema de refrigeración por absorción se utiliza una mezcla binaria la cual consta de un refrigerante y absorbente, las combinaciones refrigerante-absorbente más utilizadas en este tipo de refrigeración son, según (Bravo Méndez, 2011) "*NH₃ - H₂O El amoníaco como refrigerante y el agua como absorbente, NaSCN - H₂O El tiocianato sódico como refrigerante el agua como absorbente, NH₃ - LiNO₃ El amoníaco como refrigerante y agua nitrato de litio como absorbente., H₂O - LiBr El agua como refrigerante y bromuro de litio como absorbente.*"

De estas mezclas binarias las que más procesos aplicativos tienen son: el NH₃ - H₂O que es el aplicado en sistema de refrigeración y H₂O - LiBr que es utilizado en sistemas de aire.

3.4. CICLOS DE REFRIGERACIÓN

Los ciclos de refrigeración tienen 4 principales procesos dos procesos isotérmicos y dos adiabáticos. Los principales ciclos de refrigeración son: ciclo de refrigeración inverso de Carnot, Ciclo de refrigeración por compresión de vapor y ciclo de refrigeración por absorción.

3.4.1. CICLO INVERSO DE CARNOT

El principal ciclo de refrigeración o más conocido como ciclo inverso de Carnot, es un proceso cíclico reversible ya que trabaja en condiciones ideales y consta de dos cambios isotérmicos y dos adiabáticos.

Según (Bravo Méndez, 2011, pág. 20) "*Al igual que el ciclo de Carnot es también un ciclo reversible, los cuatro procesos que comprende el ciclo de Carnot pueden invertirse. El resultado es un ciclo que opera en dirección opuesta a las manecillas del reloj en el diagrama T-s. Actualmente este ciclo de refrigeración es el más eficiente que opera entre dos niveles de temperatura específicos.*"

(Bravo Méndez, 2011, pág. 20) Afirma que "*En el primer proceso 1-2 una fuente de baja temperatura proporciona calor, el mismo que es absorbido isotérmicamente por el refrigerante. En el siguiente proceso 2-3 se comprime el refrigerante isotrópicamente es decir en un sistema adiabático, hasta que alcanza la temperatura máxima T_h . A continuación en el proceso 3-4 el refrigerante cambia de estado de gaseoso a líquido, esto se debe a que el calor se transfiere reversiblemente a la región más caliente T_h . Y por último en el proceso 4-1 el refrigerante sufre una expansión isotrópica, hasta alcanzar la temperatura mínima.*"

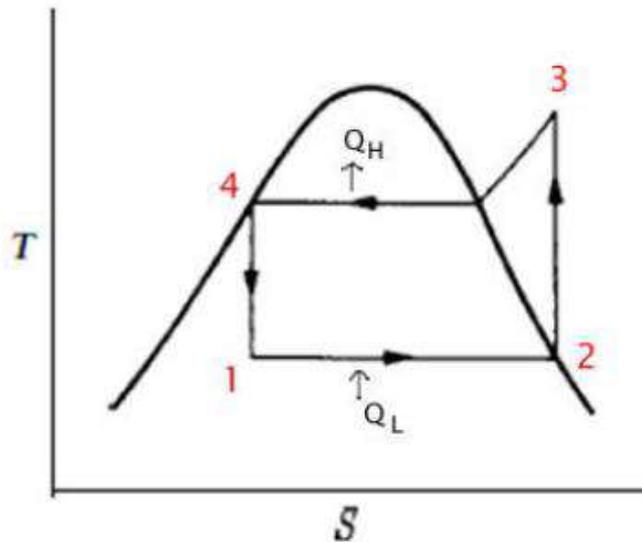


Figura 6. Ciclo De Carnot Invertido T-S
Fuente: (Bravo Méndez, 2011)

Pero este ciclo tiene algunos inconvenientes como un modelo que se lo pueda llevar a la práctica, además los procesos inherentes de este ciclo causan daños en los equipos como el compresor y en los dispositivos de expansión. Este ciclo se utiliza como referencia para probar el rendimiento de otros ciclos de refrigeración, en especial el ciclo de refrigeración por compresión.

3.4.2. CICLO DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN

Este ciclo de refrigeración por compresión es el más utilizado en lo que respecta a producción de frío, Es el que más se aproxima al ciclo de Carnot, tiene el mayor rendimiento teórico. El mayor inconveniente que tiene el ciclo de refrigeración por compresión son los refrigerantes que afectan a la capa de ozono.

Según (Dhakane & Joshi, 2014) “Ciclo de refrigeración de compresión de vapor consiste en cuatro principales procesos térmicos; evaporación, compresión, condensación y expansión. Hay muchas aplicaciones donde se requiere una planta de refrigeración para satisfacer las diversas cargas de refrigeración a diferentes temperaturas bajas. Cuando hay caso de baja temperatura por defecto no hay aumento de la relación de presión y compresión del ciclo”.

Según (Rosas, 2013, pág. 30) “Los principios de funcionamiento de la refrigeración por compresión de vapor, en forma simple pueden dividirse en cuatro operaciones. Evaporación, compresión, condensación y expansión.”

Los cuatro procesos que tiene el ciclo de compresión se comportan de la siguiente manera. (Ledezma, 2012, pág. 23) Afirma que “El ciclo por compresión de vapor se muestra en un diagrama T-s en la figura 1.1, y se compone de cuatro procesos 1-2 Compresión isentrópica en un compresor 2-3 Rechazo de calor a presión constante en un condensador 3-4 Estrangulamiento en un dispositivo de expansión 4-1 Absorción de calor a presión constante en un evaporador”.

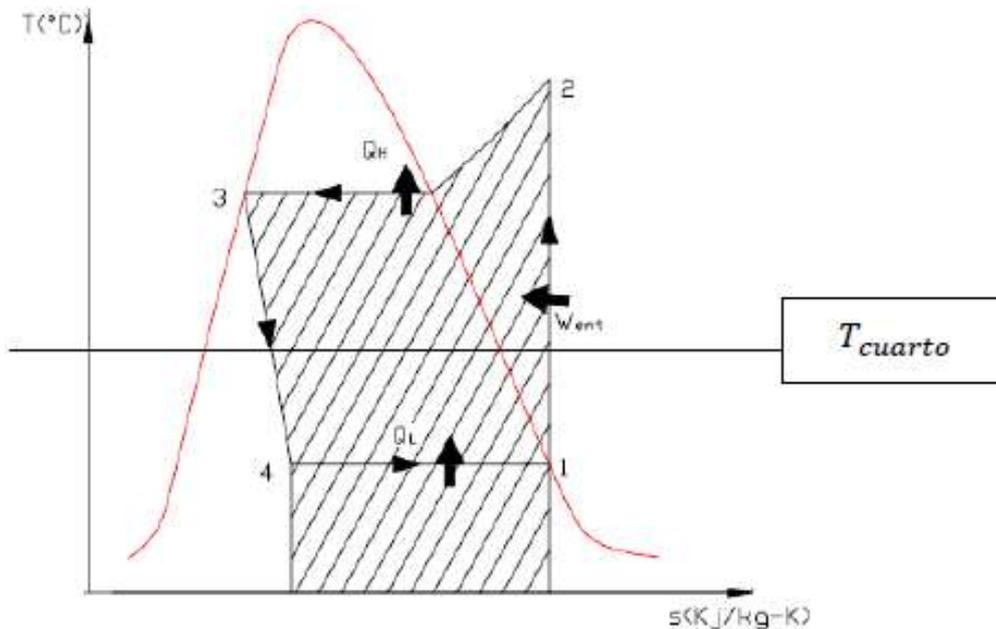


Figura 7. Diagrama T-s de un sistema de refrigeración por compresión
Fuente (Ledezma, 2012, pág. 24)

De acuerdo a los procesos anteriores, el refrigerante entra al compresor en el estado 1 como vapor saturado y se comprime isentrópicamente hasta la presión del condensador. La temperatura del refrigerante aumenta durante el proceso de compresión isentrópica, hasta un valor muy superior al de la temperatura del medio circundante. Después el refrigerante entra en el condensador como vapor sobrecalentado en el estado 2 y sale como líquido saturado en el estado 3, como resultado de la disipación de calor hacia el entorno.

Sin embargo, en aplicaciones industriales de gran envergadura, lo que más importa es la eficiencia, para estas aplicaciones el ciclo de refrigeración por compresión simple no es la mejor alternativa y necesita potenciarse, es así que nacen ciclo de refrigeración por cascada y ciclo de refrigeración de múltiples etapas.

3.4.3. CICLO DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN EN CASCADA

En procesos industriales se requiere temperaturas relativamente más bajas, para ello se han ideado procesos de refrigeración que adopten dos o más ciclos de refrigeración ubicados en serie con el fin de tener un mejor rendimiento y más bajas temperaturas.

(Cengel & Boles, 2009, pág. 633) dice que “Una manera de enfrentar esas situaciones consiste en efectuar el proceso de refrigeración por etapas, es decir, tener dos o más ciclos de refrigeración que operan en serie. Tales procesos se denominan ciclos de refrigeración en cascada.”, para estos procesos los 2 ciclos se conecta por medio de un evaporador.

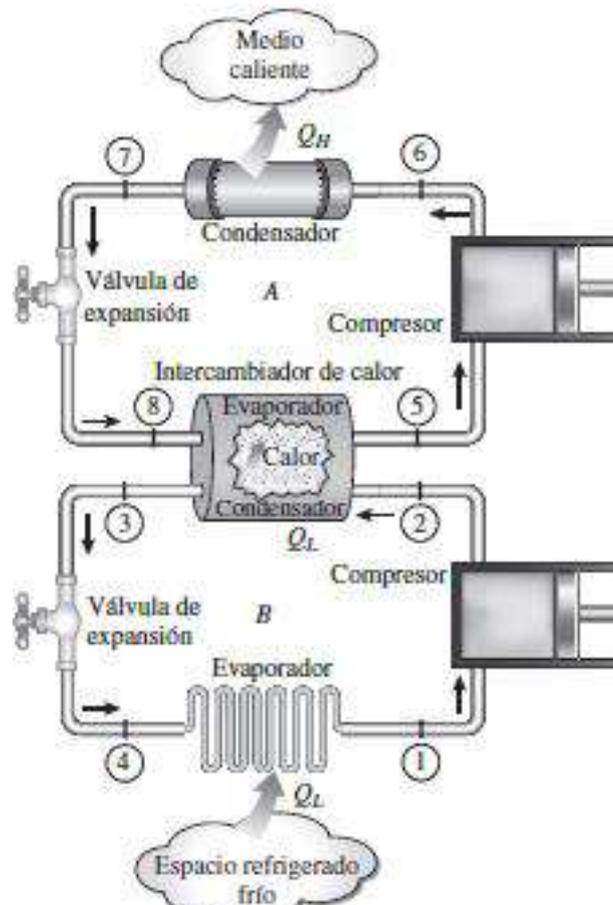


Figura 8. Sistema de Refrigeración por Cascada
Fuente: (Cengel & Boles, 2009, pág. 633)

Según (Cengel & Boles, 2009, pág. 633) “Un ciclo de refrigeración en cascada de dos etapas, Los dos ciclos se conectan por medio de un intercambiador de calor en medio, el cual sirve como el evaporador para el ciclo superior (ciclo A) y como el condensador en el ciclo inferior (ciclo B).”

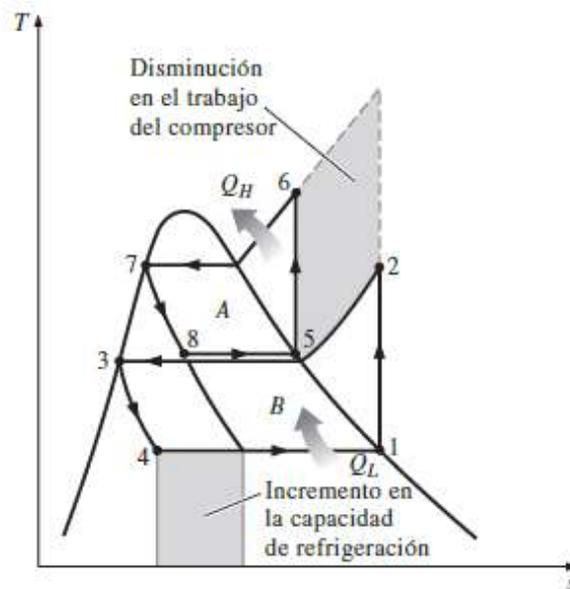


Figura 9. Diagrama T-S de un Sistema de Refrigeración por Cascada
Fuente: (Cengel & Boles, 2009, pág. 633)

3.4.4. CICLO DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE MÚLTIPLES ETAPAS

Este ciclo se diferencia del ciclo de refrigeración por compresión en cascada, en que utiliza el mismo refrigerante y el evaporador se sustituye por una cámara de vaporización instantánea. (Cengel & Boles, 2009, pág. 634) Dice que “Cuando el fluido utilizado por todo el sistema de refrigeración en cascada es el mismo, el intercambiador de calor entre las etapas puede sustituirse por una cámara de mezclado (llamada cámara de vaporización instantánea), puesto que tiene mejores características de transferencia de calor. A dichos ciclos se los denomina de refrigeración por compresión de múltiples etapas”.

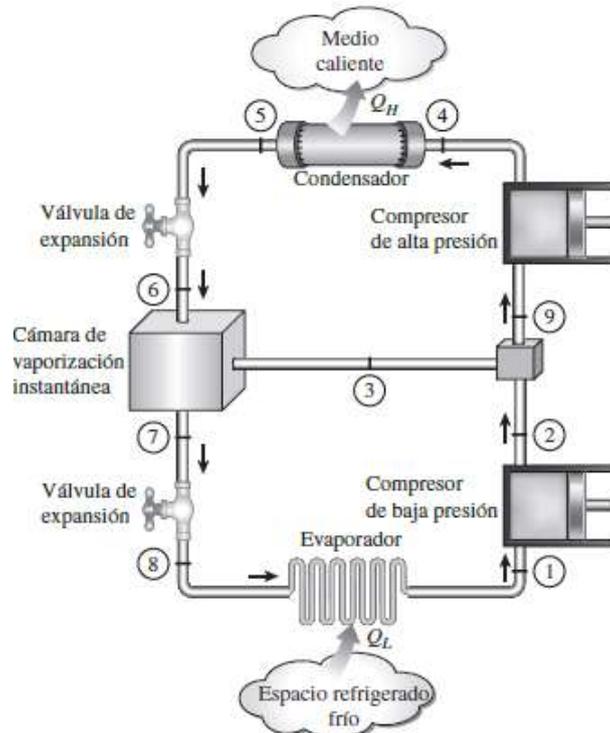


Figura 10. Sistema de Refrigeración por Compresión Múltiples Etapas
Fuente: (Cengel & Boles, 2009, pág. 634)

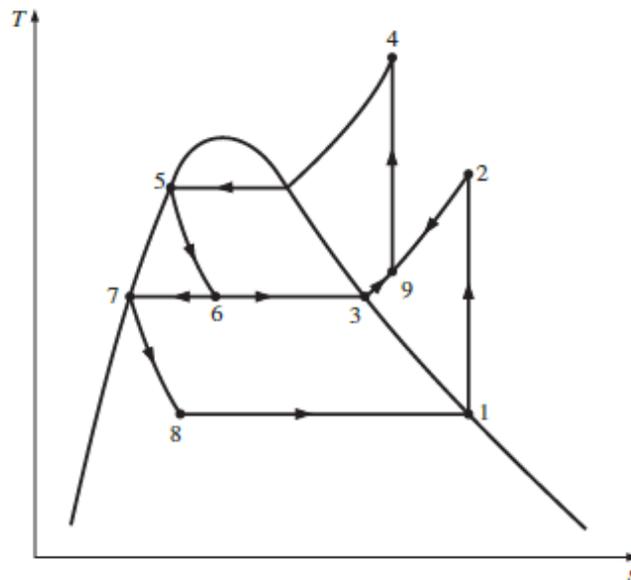


Figura 11. Diagrama T-S de Ciclo de Compresión Múltiples Etapas

Fuente: (Cengel & Boles, 2009, pág. 634)

3.4.5. CICLO DE REFRIGERACIÓN POR ABSORCIÓN

Este tipo de ciclo depende del tipo de refrigerante con el que se vaya a trabajar entre los más comunes están el amoniaco-agua y bromuro de litio agua. (Bravo Méndez, 2011) Lo define como “El ciclo de la absorción es un proceso por el cual el efecto de la refrigeración es producido con el uso de dos líquidos y una cierta cantidad de entrada de calor”.

La principal ventaja de este ciclo según (Faires & Simmang, 1983, pág. 488) “La ventaja que se deriva del ciclo de absorción es que el líquido, y no una sustancia gaseosa, es bombeado desde la región de presión baja hasta la de presión elevada, con la consecuencia de un trabajo considerablemente menor.”

Este ciclo de absorción está compuesto por tres procesos que son: la condensación realizada por el condensador, la evaporación generada por el evaporador y la expansión efectuada por la válvula de expansión. Pero a ello y para diferenciarse del ciclo de compresión reemplaza el compresor por el absorbedor y generador, estos dos componentes tienen la misión de presurizar el fluido refrigerante.

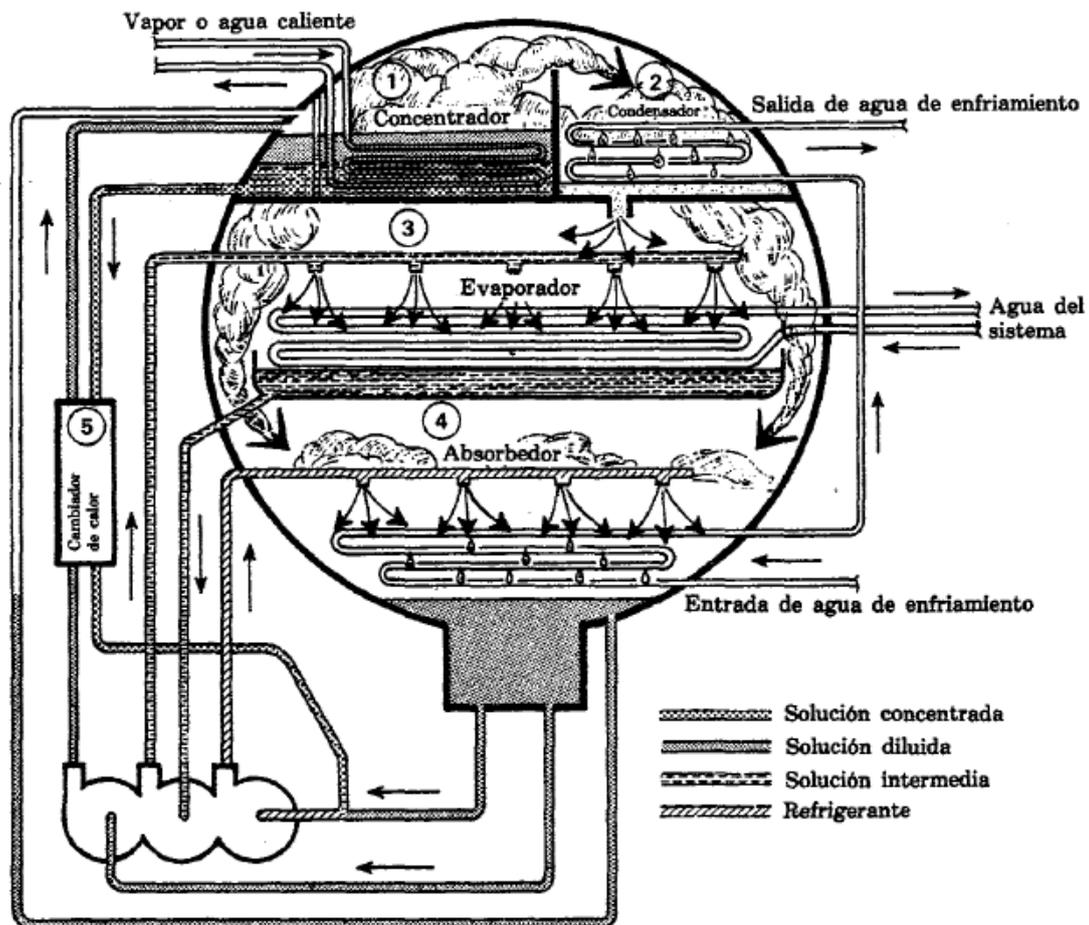


Figura 12. Principio del Ciclo de Absorción. La Producción de Agua Fría

Fuente: (Faires & Simmang, 1983, pág. 491)

Cuando se tiene una fuente de energía térmica barata a unas temperaturas entre 80 y 200 °C la forma de refrigeración a utilizar es la refrigeración por absorción. El principio de funcionamiento es semejante al ciclo de compresión: el refrigerante absorbe calor al

evaporarse y después se condensa para recomenzar el ciclo, pero la diferencia estriba en que en vez de un compresor, como su nombre indica, en estos sistemas de refrigeración el ciclo se cierra mediante la absorción del refrigerante por un medio de transporte (o absorbente) y posterior separación de la disolución por medio del calor para recomenzar el ciclo. Los ciclos de refrigeración por absorción frecuentes son:

- amoniaco-agua, donde el amoniaco (NH_3) sirve como refrigerante y el agua (H_2O) es el absorbente.
- agua-bromuro de litio, donde el agua (H_2O) sirve como refrigerante y el bromuro de litio (LiBr) como absorbente, siendo este sistema el que mejores rendimientos tiene, aunque tiene el inconveniente de que no puede funcionar a menos de 0°C (temperatura de congelación del agua, el refrigerante), lo que no obsta para los sistemas de refrigeración de espacios habitados.

3.5. APLICACIONES DE LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN

Entre las aplicaciones de la refrigeración se tiene:

- La **climatización** de espacios habitados, para alcanzar un grado de confort térmico adecuado para la habitabilidad de un edificio.
- La **conservación de alimentos**, medicamentos u otros productos que se degraden con el calor. Como por ejemplo la producción de hielo o nieve, la mejor conservación de órganos en medicina o el transporte de alimentos perecederos.
- Los **procesos industriales** que requieren reducir la temperatura de maquinarias o materiales para su correcto desarrollo. Algunos ejemplos son el mecanizado, la fabricación de plásticos, la producción de energía nuclear.
- La **criogénesis** o enfriamiento a muy bajas temperaturas empleada para licuar algunos gases o para algunas investigaciones científicas.
- **Motores de combustión interna:** en la zona de las paredes de los cilindros y en las culatas de los motores se producen temperaturas muy altas que es necesario refrigerar mediante un circuito cerrado donde una bomba envía el líquido refrigerante a las galerías que hay en el bloque motor y la culata y de allí pasa un radiador de enfriamiento y un depósito de compensación. El líquido refrigerante que se utiliza es agua destilada con unos aditivos que rebajan sensiblemente el punto de congelación para preservar al motor de sufrir averías cuando se producen temperaturas bajo cero.
- **Máquinas-herramientas:** las máquinas herramientas también llevan incorporado un circuito de refrigeración y lubricación para bombear el líquido refrigerante que utilizan que se llama taladrina o aceite de corte sobre el filo de la herramienta para evitar un calentamiento excesivo que la pudiese deteriorar rápidamente,
- **Aparatos electrónicos:** la mayoría de los aparatos electrónicos requieren refrigeración, que generalmente consiguen mediante un ventilador, que hace circular el aire del local donde se sitúan, y otras veces sencillamente haciendo circular el aire por convección.

4. DISCUSION

Al hacer el análisis de distintas bibliografías se puede dar cuenta que varios autores concuerdan que en el sistema de refrigeración por absorción se realiza un trabajo menor en comparación con el sistema por compresión, esto se evidencia en lo dicho por el autor (Faires

& Simmang, 1983, pág. 477). *“Los sistemas de absorción se caracterizan por el hecho de que el refrigerante es absorbido por un elemento en el lado de baja presión del sistema, y liberado en el lado de alta presión. La ventaja que se deriva del ciclo de absorción es que el líquido, y no una sustancia gaseosa, es bombeado desde la región de presión baja hasta la de presión elevada, con la consecuencia de un trabajo considerablemente menor”.*

Lo cual se comprueba con este otro autor (Cengel & Boles, 2009, pág. 646). *“Se comprime un líquido en vez de un vapor. El trabajo del flujo estacionario es proporcional al volumen específico, por lo que la entrada de trabajo en los sistemas de refrigeración por absorción es muy pequeña (del orden de 1 por ciento del calor suministrado al generador) y se desprecia a menudo en el análisis del ciclo”.*

En cuanto, a lo que se refiere al sistema de refrigeración por absorción se determinó que dos son los tipos más empleados, así lo menciona (Díaz, Monteagudo, & Bravo, 2015). *“Los sistemas de mayor predominio, son los de bromuro de litio-agua (LiBr-H₂O) y los de amoníaco-agua (NH₃-H₂O)”. Y corroborando eso está (Isaza & Cortés, 2009) “En las aplicaciones industriales y comerciales solo los sistemas amoníaco-agua y bromuro de litio-agua se utilizan ampliamente, sin embargo estos fluidos de trabajo tienen cierta desventaja, como los requisitos de alta y baja presión, toxicidad, corrosión y problemas de cristalización”.*

Como se puede evidenciar en lo mencionado por los dos autores se comprueba que efectivamente existen dos sistemas de refrigeración por absorción más usados, que son amoníaco-agua y bromuro de litio-agua, ya que la mayoría de refrigeradoras domésticas poseen el sistema de amoníaco-agua, mientras que los aires acondicionados están ligados al funcionamiento mediante el sistema bromuro de litio-agua, pero solamente el segundo autor advierte de las posibles desventajas que puede acarrear la utilización de este sistema.

(Martínez & Montelíer, 2015) dice *“Un aporte importante de la Refrigeración por Absorción es su contribución favorable al medio ambiente ya que evita emanaciones de CO₂, un impacto positivo en los momentos actuales donde se requiere una gran protección ambiental del planeta.”*

Los sistema de refrigeración por absorción tiene una gran ventaja desde el punto de vista ambiental, este sistema utiliza fuentes renovables y residuales de energía , eso quiere decir que para generar bajas temperaturas lo hace a partir de calores residuales, energía solar o fuentes de biomasa, con lo que reemplaza el uso de la energía eléctrica evitando amaciones de CO₂, además de ellos sus refrigerantes no afectan a la capa de ozono. Con lo que la refrigeración por absorción es una alternativa de cuidar el ambiente.

Los sistema de refrigeración por absorción se utilizan comúnmente para aplicaciones de congelación con temperaturas inferiores es a 0°C, pero cuando la temperatura de refrigeración es inferior a -30°C el rendimiento disminuye dramáticamente, mientras que los sistemas de compresión alcanzan temperaturas de -30°C a -55°C”.

Los sistemas de refrigeración por absorción bajan su rendimiento considerablemente cuando el suministro de energía disminuye, ya que no tiene una fuente de energía constante como la eléctrica y como consecuencia disminuye la temperatura de su fuente. Al respecto (Cengel & Boles, 2009, pág. 647) dice *“su capacidad de enfriamiento disminuye abruptamente, con la disminución de la temperatura de la fuente, en este caso necesita duplicar el tamaño (y por consiguiente, los costos) del enfriador para lograr el mismo enfriamiento”.* Debido a esto, los equipos de absorción se ven desplazados en el ámbito industrial, ya que implementarlos resultaría más costoso y su rendimiento sería más bajo, es por ellos que su aplicación se enfoca principalmente en neveras y aires acondicionados. Pero conforme avanza la ciencia se

han ideado equipos híbridos con el fin de aprovechar el rendimiento y capacidad de los sistemas de compresión con el aprovechamiento de fuentes de energía alternativa y beneficios ambientales que proporciona el sistema por absorción.

Cimsit y Ozturk (2012) "determina que se requiere 48- 51% menos de energía eléctrica en el ciclo de refrigeración en cascada, en comparación con el ciclo de refrigeración de compresión de vapor". Mientras que (Jain, Sachdeva, & Kachhwaha, 2014) dice "El consumo de electricidad en ciclos de refrigeración por compresión de vapor se puede reducir en cascada con un sistema de absorción de vapor (VAS), ya que utilizan de manera simultánea tanto la energía en alto y bajo grado de refrigeración.", Los ciclos de refrigeración en cascada efectivamente tienen un mayor rendimiento ya que tienen varias etapas y por lo tanto ciclos, interconectado por un evaporador con lo que con menor trabajo tendrían una mayor respuesta con las mismas condiciones que el ciclo de refrigeración por compresión de vapor, es por ello que los ciclos de refrigeración en cascada tienen aplicaciones de carácter industrial ya que pueden alcanzar temperaturas más bajas utilizando una menor cantidad de energía eléctrica. Con lo que se concuerda con lo expuesto por los autores.

5. CONCLUSIONES

De la revisión bibliográfica se obtuvo que para entender el funcionamiento de los sistemas de refrigeración, se debe tener en cuenta el proceso donde se requiere aplicarla, ya que cada sistema tiene características especiales, limitaciones, ventajas y desventajas dependiendo del proceso.

El sistema de refrigeración por compresión tiene un rendimiento superior en la producción de temperaturas más bajas ya que cuenta con una fuente de energía constante como la energía eléctrica, es por ello que este tipo de refrigeración se la aplica más en procesos industriales, pero su consumo energético es alto y además produce mayor contaminación.

Los sistemas de refrigeración por absorción tienen la ventaja de aprovechar energías alternativas como energía solar, fuentes de calor residuales e incluso fuentes de biomasa, con lo que son amigables con el medio ambiente, pero su implementación es más costosa y su rendimiento es menor debido a que sus fuentes de alimentación no son constantes y no alcanza temperaturas bajas en comparación con el sistema de refrigeración por compresión.

Además de entender las aplicaciones de los sistemas de refrigeración, es necesario comprender el ciclo y el principio de funcionamiento del sistema ya sea de compresión o de absorción, tomando en cuenta que tipo de refrigerante se va a usar ya que cada refrigerante está desarrollado para una aplicación específica y de esta forma elegir el sistema de refrigeración más adecuado según sea la necesidad de aplicación.

6. REFERENCIAS

1. Artemenko, S., & Chanchine, A. (2012). *Solar cooling technologies using ejector refrigeration system*. Odessa: ScienceDirect.
2. Ascani, M., & Cerri, G. (2015). *Power Reduction in Vapour Compression Cooling Cycles by Power Regeneration*. Roma: ScienceDirect.
3. Bravo Méndez, J. (2011). *Estudio Analítico de la Transferencia de Calor en un Absorbedor de Burbujas (Tesis Maestría)*. México: Instituto Politécnico Nacional.

4. Castro-García, Y., & Velázquez-Limón, N. (2014). *Análisis Termodinámico de un Sistema de Absorción Tipo GAX Enfriado por Aire, para Acondicionamiento Térmico de Espacios en Climas Cálidos Extremos*. California: Scielo.
5. Cengel, Y., & Boles, M. (2009). *Termodinámica*. México DF: Mc Graw Hill.
6. Dhakane, P., & Joshi, M. (2014). *Design Of Two Stage Vapour Compression Refrigeration System With Water Intercooler*. Maharashtra: Journal of Emerging Technologies and Innovative Research.
7. Díaz, Y., Monteagudo, J., & Bravo, D. (2015). *Análisis Energético de un Sistema Híbrido de Producción de Frío*. Abana: Scielo.
8. Faires, V., & Simmang, C. (1983). *Termodinámica*. México DF: Unión Tipográfica.
9. Figeredo, G. (2013). *Caracterización Experimental y Modelización de una Enfriadora de Absorción de Simple/Doble Efecto de H₂O-libr con Accionamiento a dos Temperaturas Para Climatización de Edificios (Tesis de Maestría)*. Tarragona: Universitat Rovira I Vigili.
10. Gonçalvesl, J., & Melo, C. (2011). *Experimental mapping of the thermodynamic losses in vapor compression refrigeration systems*. Rio de Janeiro: Scielo.
11. Isaza, C., & Cortés, F. (2009). *Análisis Termodinámico de un Sistema de Refrigeración Solar por Absorción Usando Soluciones de Monometilamina Agua para la Conservación de Alimentos*. Cali: Scielo.
12. Jain, V., Sachdeva, G., & Kachhwaha, S. (2014). *Performance Analysis Of A Vapour Compression-Absorption Cascaded Refrigeration System With Undersized Evaporator And Condenser*. Delhi: Journal of Energy in Southern Africa.
13. Ledezma, C. (2012). *Estudio Termoeconómico de un Sistema de Refrigeración con Módulo Termoeléctrico para Enfriamiento del Refrigerador (Tesis de Maestría)*. Mexico Df: Instituto Politécnico Nacional.
14. Martínez, L., & Montelier, S. (2015). *Factibilidad del Uso de la Refrigeración por Absorción en el Combinado Lácteo de Cumanayagua*. Cuba: Scielo.
15. Martínez, O. (2011). *Desarrollo de la Ingeniería Conceptual para el enfriamiento de una corriente de gas a través de un tren de refrigeración mecánica existente. (Tesis para la obtención del título de Ingeniero Químico)*. España, Barcelona. Universidad de Oriente.
16. Monné, C., & Alonso, S. (2011). *Evaluación de una Instalación de Refrigeración por Absorción con Energía Solar*. Zaragoza : Scielo.
17. Omid, K., Shaharam, K., & Iraj, M. (2016). *Energic, Exergic, Exergo-economic investigation and optimization of Auxiliary Cooling System (ACS) equipped with Compression Refrigerating System (CRS)*. Urmia: ScienceDirect.
18. Pongsid , S., & Satha , A. (2001). *A review of absorption refrigeration*. patumthani: ScienceDirect.
19. Roman Cerezo, J. (2006). *Estudio del Proceso de Absorción con amoniaco-agua en Intercambiadores de Placas Para Equipos de Refrigeración por Absorción (Tesis Maestría)*. Taragona: Escuela Técnica Superior de Ingeniería.
20. Rosas, N. (2013). *Análisis Energético de la Conversión de un Sistema de Refrigeración Doméstico con R-12 Para ser Utilizado Como Nuevo Refrigerante Ecológico (Tesis Maestría)*. Lima: Universidad Nacional De Ingeniería.

21. Samson, I., & Echarri, R. (2004). *Una Alternativa Para La Producción De Frío Con Energía Solar*. Santo Domingo: Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe.
22. Surendra, S., Bhavesh, P., & Bhaumik, M. (2016). *Thermodynamic Modelling and Parametric Study of a Two Stage Compression-Absorption Refrigeration System for Ice Cream Hardening Plant*. Bhubaneswar: ScienceDirect.
23. Tatenda, B., & Inambao, F. (2015). *Performance of an autonomous solar powered absorption air conditioning system*. KwaZululu: Scielo.
24. Vargas, V. (2013). *Equipo Didactico Para el Aprendizaje del Ciclo de Refrigeración por Compresión de Vapor (Tesis de Maestría)*. México DF: Universidad Nacional Autónoma de México.
25. Yi, C., Wei, H., Luili, S., & Hongguang, J. (2015). *A New Absorption-compression Refrigeration System Using a Mid-temperature Heat Source for Freezing Application*. Beijing: ScienceDirect.
26. Zhang, H., & Shao, S. (2014). *Performance Analysis on Hybrid System of Thermosyphon free Cooling and Vapor Compression Refrigeration for Data Centers in Different Climate Zones of China*. Beijing: ScienceDirect.