

COMPARACIÓN ECONÓMICA DE LA OPERACIÓN DE CHILLERS DE ABSORCIÓN Y COMPRESIÓN PARA DISTRITOS TÉRMICOS.

Carolina Andrea Arteaga Ramirez¹, Manuel Fernando Vega Alarcon², Samuel Iván Bonilla Gracia³, Jorge Mario Mendoza Fandiño⁴, Miguel Emigdio Doria Oviedo⁵, Jesús David Rhenals Julio⁶

1.ICT, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Córdoba, País: Colombia

Email: carteagaramirez@correo.unicordoba.edu.co

2.ICT, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Córdoba, País: Colombia

Email mvegaalarcon00@correo.unicordoba.edu.co

3.ICT, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Córdoba, País: Colombia

Email: sbonillagracia04@correo.unicordoba.edu.co

4.ICT, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Córdoba, País: Colombia

Email: Jorge.mendoza@correo.unicordoba.edu.co

5. GIITA, Departamento de Ingeniería Electromecánica, Universidad del Sinú, País: Colombia.

Email: correo electrónico: migueledoria@unisnu.edu.co

6.ICT, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Córdoba, País: Colombia

Email: jesusrhenalsj@correo.unicordoba.edu.co

Resumen

El siguiente estudio presenta una comparación económica entre los sistemas de refrigeración de absorción y compresión en distritos térmicos. Se destaca la creciente demanda de energía en el sector del aire acondicionado y la importancia de estudiar los costos de adquisición y operación de estos sistemas de refrigeración. Se describe brevemente el funcionamiento de los chillers de absorción y compresión, mencionando que los primeros utilizan calor como fuente de energía, mientras que los segundos utilizan electricidad. El objetivo de la investigación es realizar una comparación económica considerando los costos de adquisición, operación y mantenimiento de los dos tipos de chillers. En resumen, se destaca la importancia de seleccionar el sistema más rentable desde el punto de vista económico.

Palabras clave: Microrred, energía eléctrica, energías renovables.

Abstract

The following study presents an economic comparison between absorption and compression refrigeration systems in thermal districts. It highlights the growing energy demand in the air conditioning sector and the importance of studying the acquisition and operating costs of these cooling systems. The operation of absorption and compression chillers is briefly described, mentioning that the former use heat as an energy source, while the latter use electricity. The objective of the research is to perform an economic comparison considering the acquisition, operation and maintenance costs of the two types of chillers. In summary, the importance of selecting the most cost-effective system from an economic point of view is highlighted.

Keywords: Microgrid, electric power, renewable energies.

1. Introducción

La refrigeración es un proceso fundamental en los sistemas de operación de muchas industrias, este requiere un consumo significativo de energía.

La demanda de energía asociada con el aire acondicionado en países más industrializados ha aumentado notablemente en los últimos años, causando picos en el consumo de energía eléctrica durante los

períodos de calor [1], todo esto es debido a que, a nivel doméstico, las personas buscan constantemente mejorar las condiciones de vida y sus comodidades. Lo anterior, junto con los requisitos de refrigeración en el campo de la elaboración de alimentos y la conservación de los productos farmacéuticos en los países en desarrollo están liderando el interés en el aire acondicionado y refrigeración alimentados por energías renovables, especialmente con energía solar térmica, que funcionan de manera eficiente y, en ciertos casos, son competitivos con sistemas de refrigeración convencionales [1]. Estos factores influyen en el aumento del consumo energético, lo que hace necesario un estudio de los costos de adquisición y operacionales de diferentes sistemas de refrigeración con el fin de determinar los posibles ahorros económicos que se pueden obtener a través de su correcta selección.

La selección depende de qué sistema requiere el costo mínimo del ciclo de vida y puede realizar la función prevista durante su vida útil. El análisis también considera la interrelación entre aspectos económicos y termodinámicos, como la dependencia del costo de operación y las condiciones climáticas del entorno. El método utilizado y los resultados de este estudio ofrecen directrices útiles para investigadores y responsables de la toma de decisiones a la hora de seleccionar un sistema de aire acondicionado [2]

La energía consumida en edificios, hospitales y centros comerciales, puede representar aproximadamente un tercio de la energía consumida de un país. Comúnmente los sistemas de aire acondicionado son responsables por una significativa fracción de esa energía, la mayoría de estos sistemas operan en función de enfriadores de líquido por compresión a vapor [3].

El uso de enfriadores de absorción está ganando popularidad en la industria del aire acondicionado porque pueden activarse con agua caliente, vapor y gas natural de combustión directa en lugar de electricidad [4]. La estrategia de optimización para los sistemas de refrigeración por absorción generalmente se basa en el análisis termodinámico. Sin embargo, el óptimo así obtenido no siempre garantiza el óptimo económico. En este sentido, la termoeconomía que combina la termodinámica principios con parámetros económicos juega un papel vital para lograr la rentabilidad de estos sistemas.

Los sistemas de refrigeración por absorción utilizan calor de bajo grado de energía, como se mencionó anteriormente se usan energías como la solar, la energía geotérmica y el calor residual para proporcionar refrigeración. Por lo tanto, los sistemas de absorción tienen un gran potencial para ahorrar energía primaria y disminuir la temperatura ambiental contaminada [4]

Los equipos de refrigeración y otros sistemas de enfriamiento tienen un elevado consumo energético y contribuyen al incremento de las emisiones de CO₂. Existen alternativas más sostenibles a los ciclos de compresión convencionales. Estos sistemas requieren mejoras para ser competitivos [5]. El uso de un sistema de refrigeración de absorción puede ser una de las mejores alternativas para tener en cuenta si no se desea utilizar un sistema de refrigeración convencional.

El objetivo de este trabajo es realizar una comparación económica de los sistemas de refrigeración de absorción y compresión, para determinar cuál es más rentable en función de diversos factores como lo son los costos de operación de estos dos tipos de enfriadores en un distrito térmico, los costos iniciales de los equipos dependiendo de las capacidades de trabajo y los costos de mantenimiento.

2. Materiales y métodos.

2.1. Descripción de los chillers de absorción y compresión.

Los chillers son dispositivos utilizados en edificios comerciales e industriales para proporcionar aire acondicionado, refrigeración y enfriamiento de fluidos para procesos industriales. Hay dos tipos básicos de chillers de refrigeración: chillers de compresión de vapor y chillers de absorción.

2.2. Chillers de absorción.

Los chillers de absorción son máquinas frigoríficas que emplean el ciclo de absorción como método de producción de frío. Estos dispositivos, evaporan líquido a baja presión. Los chillers de absorción, realizan la compresión térmica usando una solución líquida absorbente/refrigerante y una fuente de calor externa. Son conocidos por su alta eficiencia energética, especialmente cuando se utilizan fuentes de calor de baja calidad, como calor residual o energía solar térmica [6].

2.2.1. Principio de funcionamiento

Los chillers de absorción en condiciones de baja presión, evaporan el agua a baja temperatura. Utilizan el calor de un foco térmico como una llama, resistencia eléctrica, agua caliente, recuperación de calor de los gases de escape, para producir refrigeración de una forma eficiente. El vapor de salida del generador se puede hacer pasar por una torre de rectificación adicional para una mejora de la separación de los fluidos [6]. En la **figura 1** se puede ver el ciclo de absorción.

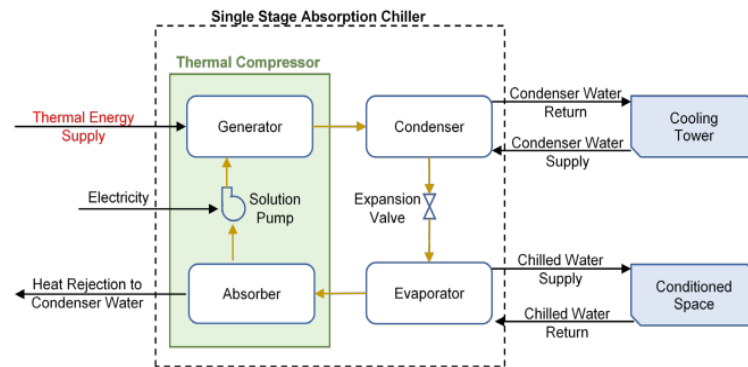


Figura 1. Ciclo de absorción de una sola etapa. Fuente: [7].

2.2.2. Componentes

En la figura 2 se aprecia un chiller de absorción como el seleccionado.

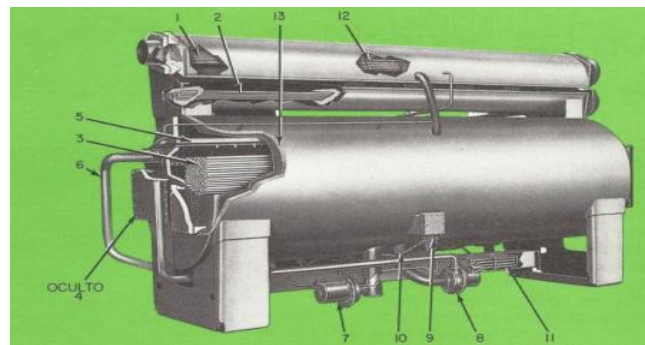


Figura 2. Chiller de absorción. Fuente: (Salas 2021).

2.3. Chillers de compresión

La tecnología de los chiller de compresión mecánica es la más usada para la producción de frío. El éxito comercial de estos equipos se debe principalmente a su baja inversión inicial y a sus atractivos coeficientes de operación COP [1].

2.3.1. Componentes y ciclo de refrigeración

El ciclo de refrigeración consiste en cuatro procesos que permiten extraer calor de un espacio y transferirlo

a otro, (1) se da una compresión del vapor saturado que proviene del evaporador en un compresor, donde se eleva su presión y temperatura, (2) luego se da la condensación del vapor sobrecalentado en un condensador, donde se libera calor al medio ambiente y se obtiene líquido saturado, (3) seguidamente se expande el líquido saturado en una válvula de expansión, donde se reduce su presión y temperatura y se forma una mezcla de líquido y vapor, (4) finalmente se evapora la mezcla en un evaporador, donde se absorbe calor del espacio a refrigerar y se genera vapor saturado que vuelve al compresor y comienza el ciclo nuevamente.

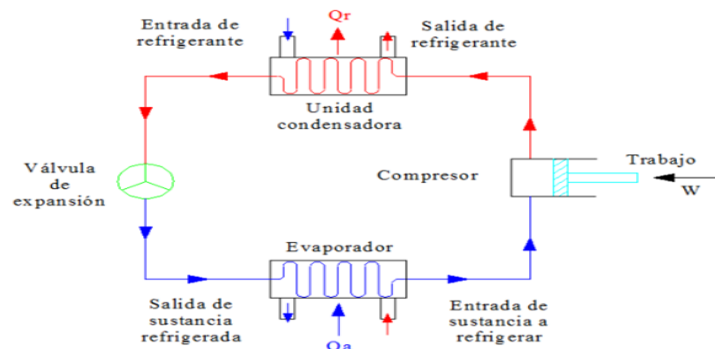


Figura 3. Ciclo de refrigeración por compresión. Fuente: (Macas y Toainga 2015)

2.3.2. Chillers de absorción

La eficiencia de un chiller de absorción se mide por el coeficiente de rendimiento COP, que se define como calor útil de salida de energía, es decir, carga del enfriador dividida por entrada de calor. Los valores de COP para chillers de una sola etapa son menores de uno, y para sistemas de dos etapas son mayores que uno, es decir, la energía enfriada entregada excede el calor requerido para impulsar el sistema [7].

Para los equipos de absorción basados en agua/bromuro de litio los cuales se configuran

típicamente como equipos de agua para sistemas de aire acondicionado en edificios grandes, y están disponibles en tamaños de 35 a 5000 kW. Se tienen coeficientes de desempeño (COP) en el intervalo de $0,7 < \text{COP} < 1,5$ (Zúñiga, Vallejo y Vega 2019).

La tabla muestra las características de rendimiento representativas para chillers de absorción de agua/bromuro de litio de una y dos etapas con capacidades de 50 a 1.320 toneladas. Siendo 1,2 y 3 chillers de una sola etapa, y 4, 5,6 y 7 unidades de dos etapas (U.S. Department of Energy 2018).

Tabla 1. Coeficiente de desempeño (COP) chiller de absorción.

Descripción.	Sistema.						
	1	2	3	4	5	6	7
Diseño.	Una etapa			Dos etapas			
Fuente de calor.	Agua caliente		Vapor (Bajo presión)	Vapor (Alta presión)		Escape disparado	
Capacidad de enfriamiento nominal (toneladas).	50	440	1320	330	1320	330	1000
Refrigeración COP (carga completa).	0.70	0.74	0.79	1.42	1.42	1.35	1.38

Fuente: [7].

El ciclo de absorción utiliza una bomba y no un compresor para incrementar la presión del sistema, lo cual reduce su consumo de electricidad.

2.3.3. Chillers de compresión.

El consumo de energía y la eficiencia de un chiller de compresión depende de muchos factores como la

capacidad del equipo, cuantificada como cantidad de calor que puede extraer el chiller por unidad de tiempo, a mayor capacidad, mayor consumo de energía. El tipo de refrigerante que circula por el ciclo termodinámico y que cambia de estado entre líquido y vapor durante el proceso, existen diferentes tipos de refrigerantes con distintas propiedades termodinámicas lo que conlleva a influir en el rendimiento y el consumo del chiller y el

tipo de compresión que en el proceso aumenta la presión y la temperatura del refrigerante en el ciclo, puede ser mecánica o un compresor accionado por un motor eléctrico, lo cual puede afectar el consumo de energía y a la eficiencia del equipo.

El mercado ofrece muchos tipos de máquinas que utilizan el ciclo de compresión de vapor para refrigerar. El COP promedio es 4,5 [8]

A continuación, se muestra una relación entre la capacidad del equipo y el coeficiente de desempeño.

Tabla 2. Coeficiente de desempeño (COP) chiller de compresión.

Tipo de chiller de compresión	Centrífugos de LG con dos etapas	Tornillo por condensación de agua de LG	Tornillo condensación por aire de LG	Inverter Scroll
Rango de capacidades (RT)	200-3000	80-380	80-500	20-80
Coeficiente de desempeño (COP)	6.7	5.3	3.2	3.0

Fuente: [9]

2.4. Costos

2.4.1. Chillers de absorción

Los costos iniciales de los sistemas de absorción de simple y doble efecto incluyen el equipo de chiller de absorción.

Tabla 3 Costos iniciales chiller absorción.

Diseño.	Una etapa			Dos etapas			
Fuente de calor.	Agua caliente		Vapor (Bajo presión)	Vapor (Alta presión)		Escape disparado	
Capacidad de enfriamiento nominal (toneladas)	50	440	1320	330	1320	330	1000
Costo del equipo instalado (USD /ton).	\$6.000	\$2.300	\$1.800	\$3.000	\$1600	\$3.300	\$2.000

Fuente: [7]

Para el consumo de un equipo de absorción dependerá de las especificaciones y diferentes capacidades de los equipos, para determinar cuál sería el consumo de gas en un tiempo determinado se puede hacer uso de la siguiente ecuación donde dependiendo de la capacidad del equipo se sabe el consumo en BTU/h, convertirlo en m^3/h para luego aplicar la siguiente ecuación y determinar el costo de la fuente de energía para su operación [12]

$$\text{Costo operación} = \text{Consumo gas horas de trabajo} * \text{costo } m^3 \text{ gas} * \text{tiempo a evaluar} \quad (1)$$

Si se toma un equipo de 100TR de la marca TRANE, se obtienen los datos de un catálogo que consume 1191 MBTU/h, en un distrito térmico que opera las 8 horas del día. Además, sabemos que para el 2022 el costo del m^3 de gas en Colombia según EPM tiene un cargo fijo de \$3539,51, queremos evaluar el costo de operación de chiller en un mes entonces:

$$(1191 \text{ MBTU/h}) / (1000 \text{ BTU/ft}^3) = 1191 \text{ ft}^3/\text{h}$$

Se convierte en m^3

$$(1191 \text{ ft}^3/\text{h}) / (35,315 \text{ m}^3/\text{ft}^3) = 33,725 \text{ m}^3/\text{h}$$

aplicando la ecuación

$$\text{Costo operación} = 33,725 \text{ m}^3/\text{h} * 8 \text{ h/día} * 3539,51 \$/\text{m}^3 * 30 \text{ días}$$

$$\text{Costo operación} = 28.648.793.94 \text{ \$ /més}$$

Los costos de operación y mantenimiento no incluyen los costos de energía requeridos para la operación, pero incluye todos los requisitos de mantenimiento asociados con un chiller de absorción, incluidas las purgas periódicas de gases no condensables, y monitoreo de torre de enfriamiento y calidad del agua helada.

Tabla 4. Costos de mantenimiento chiller absorción.

Diseño.	Una etapa			Dos etapas			
Fuente de calor.	Agua caliente		Vapor (Bajo presión)	Vapor (Alta presión)	Escape disparado		
Capacidad de enfriamiento nominal (toneladas).	50	440	1320	330	1320	330	1000
Costos de operación y mantenimiento (¢ / ton-h)	0.6	0.2	0.1	0.3	0.1	0.3	0.1

Fuente: [7]

2.4.2. Chillers de compression.

El costo inicial del sistema de compresión de vapor incluye el enfriador de compresión de vapor y el equipo de disipación de calor.

Tabla 5. Costos iniciales chiller de compresión

Tabla 5. Tipo de Chiller de compresión.	Tornillo.	Centrífugo.	Reciprocante.
Capacidad (TR)	20-2000	90-1000	3-100
Costo Inicial (USD/TR)	\$500-\$800	\$500-\$700	\$450-\$600

Fuente: [12]

Para determinar el costo del consumo de energía eléctrica en un tiempo determinado para el funcionamiento de un chiller a compresión se hace uso de la siguiente fórmula donde se necesita conocer su consumo de kW, que depende de las especificaciones técnicas del equipo (Álvarez 2001).

$$\text{Costo de operación} = \text{kW consumido} * \text{horas de trabajo} * \text{costo kWh} * \text{tiempo a evaluar} (2)$$

Para un chiller de 100TR de la marca TRANE, que tiene un consumo de 351 kWh, trabaja 8 horas diarias, y sabiendo que en Colombia el precio del kWh es de 911,43 \$/kWh, el costo de operación mensual sería:

$$\text{Costo de operación} = 351 \text{ kWh} * 8 \text{ h/día} * 911,43 \text{ \$ /kWh} * 30 \text{ días} ($$

$$\text{Costo de operación} = 76.778.863,2 \text{ \$ /mes}$$

El costo de mantenimiento depende en gran medida del nivel de sofisticación del sistema y la relativa facilidad de acceso a la planta, que está más allá de este trabajo. El costo de mantenimiento es difícil de cuantificar debido a que depende de una gran cantidad de variables como las tarifas de mano de obra local, su experiencia, la antigüedad del sistema, el tiempo de operación [12]

En el estudio realizado en la universidad de PIURA (Mejía y Salazar 2020). Se planteó un sistema compuesto solo por chillers de compresión.

Una vez hechas las evaluaciones necesarias se hace necesario la utilización de 3 chillers de compresión de 301.39 kW a los cuales se le hace una evaluación económica, de los costos de los equipos, la instalación, los costos de operación y de mantenimiento, de los cuales se obtiene que el costo promedio para el mantenimiento para un chiller de compresión es de 5700 USD anuales, siendo el chiller de aproximadamente 100 TR.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis económico.

Los costos totales de un sistema de aire acondicionado tipo chiller dependen de varios factores, como se ve en el desarrollo de la investigación. Algunos de estos factores son:

- Las capacidades de enfriamiento de los chillers, que determinan la cantidad de agua fría que pueden producir por unidad de tiempo y la potencia eléctrica o térmica que consumen.

- Las marcas de fabricante de los chillers, que pueden ofrecer diferentes calidades, garantías, servicios y precios.
- El factor de desempeño (COP) de los chillers, que mide la relación entre la energía útil que entregan y la energía que consumen. Un COP más alto implica una mayor eficiencia energética y un menor costo operativo.

Los valores obtenidos en los resultados son sacados de múltiples fuentes de personas que han realizado investigaciones que relacionan los costos aquí mencionados, incluidos datos de proveedores que se encontraban en la red.

Para los diversos tipos de chillers de absorción se tiene que los costos totales están dados como se muestra en la tabla 6 que resume las tablas anteriores, en los cuales los valores están expresados en dólar.

Tabla 6. Costos totales de los chiller de absorción.

DISEÑO	CHILLERS DE ABSORCIÓN						
	UNA ETAPA			DOS ETAPAS			
FUENTE	AGUA CALIENTE		VAPOR (BAJA PRESIÓN)	VAPOR (ALTA PRESIÓN)		ESCAPE DISPARADO	
Capacidades (TR)	50	440	1320	330	1320	330	1000
Costo inicial (USD/TR)	6000	2300	1800	3000	1600	3300	2000
Costo de operación (\$/t)	Consumo fuente*horas de trabajo*costo m3 fuente*tiempo a evaluar						
Costo de mantenimiento (¢ / ton-hr)	0,6	0,2	0,1	0,3	0,1	0,3	0,1

Fuente: Autor

Se pueden apreciar los costos iniciales, los de operación y de mantenimiento, con rangos de costos instalados de \$1,800 a \$6,000 por tonelada para los tres sistemas de una sola etapa, y de \$1,600 a \$3,300 por tonelada para los cuatro enfriadores de dos etapas.

El costo de capital por tonelada de capacidad de enfriamiento disminuye a medida que el tamaño del enfriador aumenta, siendo los costos comparables tanto para chiller de absorción de una como para dos etapas

Lo que permite hacer una comparación del costo instalado de un chiller de 1.320 TR de una etapa, que se observa es de \$1.800 /TR, y el costo de la misma capacidad de dos etapas es de \$1.600 /TR. por lo cual

podemos analizar que se puede elegir un equipo más grande para tener una mayor viabilidad económica.

Los costos de mantenimiento incluyen todos los requisitos de mantenimiento asociados con un enfriador de absorción, incluidas las purgas periódicas de gases no condensables, monitoreo de torre de enfriamiento y calidad del agua helada (U.S. [7])

Ahora para los chillers de compresión y sus tipos se describen los costos necesarios para estimar el costo total para su operación, de igual forma consta de costos iniciales, costos de operativos y el costo del mantenimiento, los cuales se encuentran en la tabla 7.

Tabla 7. Costos totales chiller de compresión.

DISEÑO	CHILLERS DE COMPRESIÓN		
	TORNILLO	CENTRÍFUGO	PISTÓN
Capacidades (TR)	20-2000	90-1000	3-100
Costo inicial (USD/TR)	500-800	500-700	450-600
Costo de operación (\$/t)	kW consumido*horas de trabajo*costo kWh*tiempo a evaluar		
Costo promedio de mantenimiento (USD/año)	5700		

Fuente: Auto

Para los costos de operación se tiene nuevamente en cuenta las capacidades de los chillers, debido a que al ésta aumentar, el consumo de energía eléctrica también aumenta, de igual manera, es vital conocer el sector en el cual va a ser utilizado el equipo para saber el costo del kWh de energía y junto con el consumo, saber los costos de operación del chiller.

Se puede observar que el costo de mantenimiento anual de estos equipos está aproximadamente en 5700 USD, en estos costos se contabilizan todos los requerimientos del equipo durante su operación, sea para tener controlado y en óptimas condiciones o para realizar

reparaciones que sean necesarias por algún fallo presentado, los costos de mantenimiento de los diferentes tipos de chiller varían un poco debido a los diferentes componentes para su funcionamiento, pero manteniéndose cerca del valor promedio definido.

3.2. Comparación económica.

Los chiller de absorción tienden a tener un costo inicial alto debido a su tecnología compleja y al uso de componentes como generadores de vapor y absorbentes.

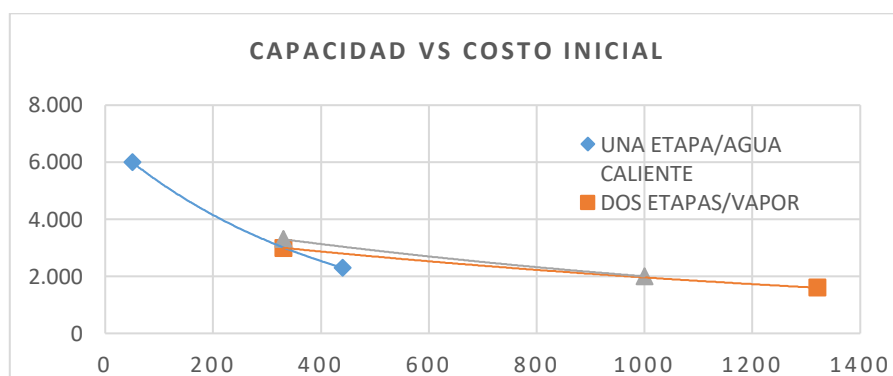


Figura 4. Capacidad vs costo inicial chiller de absorción. Fuente: Autor

Mientras que los de compresión a comparación de los de absorción tienden a tener un costo inicial bajo por lo

que su tecnología es más simple y tienen una amplia disponibilidad en el mercado.

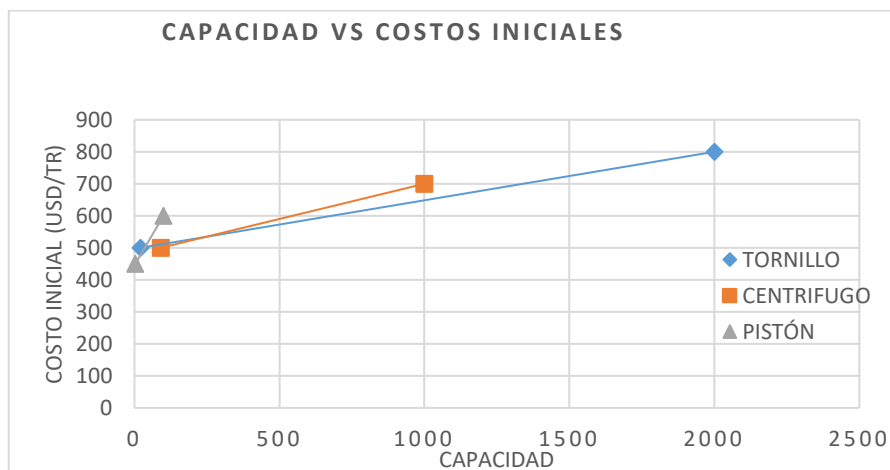


Figura 5. Capacidad vs costo inicial chiller de compresión. Fuente: Autor

El costo puede variar dependiendo de la capacidad y marca de los chiller, pero en promedio se encuentran entre 1600 y 6000 USD/TR para los de absorción y para los de compresión entre 450 y 800 USD/TR.

Los chiller de compresión tienen un consumo energético mayor en comparación con los de absorción debido a que estos últimos utilizan una fuente de calor externa para generar el ciclo de refrigeración disminuyendo los consumos de energía eléctrica. Por

lo tanto, los costos de operación estimado en promedio por kW-hora para un chiller de absorción pueden ser hasta un 50-100% menos que los de compresión.

A continuación, se muestra una línea de tendencia del comportamiento de los costos de operación de los chiller de absorción y compresión dependiendo de los consumos de energía necesario para su funcionamiento.

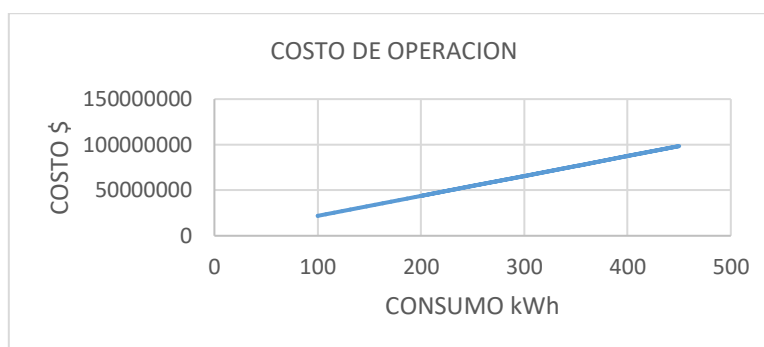


Figura 6. Costos de operación chiller de compresión. Fuente: Autor

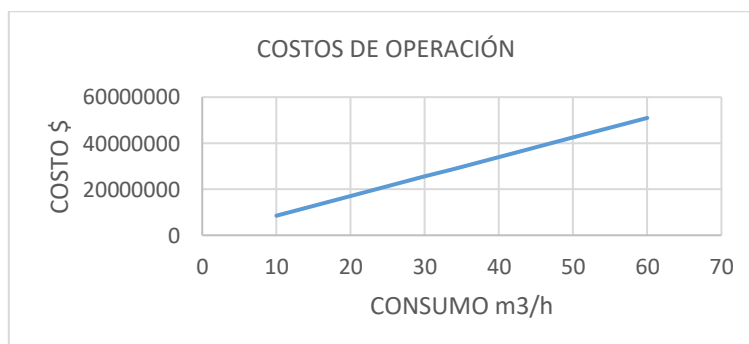


Figura 7. Costos de operación chiller de absorción. Fuente: Autor

Los costos pueden variar dependiendo del tamaño y la marca del chiller, en promedio para los chiller de

absorción los valores pueden oscilar entre \$5,000 y \$20,000 USD/año y para los de compresión entre \$2,000 y \$10,000 USD/año.

3.3. Evaluación de la viabilidad económica.

Después de haber analizado los resultados obtenidos se puede definir una viabilidad a la hora de la elección de un chiller para ser usado en un distrito térmico, con el fin de tomar la mejor decisión que represente el mejor ahorro económico. La elección de un chiller adecuado depende de varios factores, como la demanda térmica, el rendimiento energético, el costo inicial, los costos de operación y el mantenimiento. En este trabajo se han comparado diferentes tipos de chillers, como los de absorción, los de compresión y los de adsorción, considerando sus ventajas y desventajas desde el punto de vista técnico y económico. Se ha realizado un análisis de sensibilidad para evaluar el impacto de las variaciones en los precios de la electricidad y el gas natural sobre la rentabilidad de cada opción. Los resultados muestran que el chiller de absorción es el más viable para ser usado en un distrito térmico, ya que ofrece el mayor ahorro económico a lo largo de su vida útil.

4. Conclusiones

Los resultados obtenidos en esta investigación evidencian que el chiller de absorción emerge como la opción preferible para su implementación en un distrito térmico. Su capacidad para aprovechar fuentes de calor residual y su menor sensibilidad a las fluctuaciones en los precios de la energía lo convierten en una solución técnica y económicamente atractiva. Se recomienda, por tanto, considerar seriamente esta tecnología en futuros proyectos similares. Sin embargo, se sugiere que futuras investigaciones profundicen en el análisis de otros factores, como la integración con sistemas de almacenamiento de energía y el impacto ambiental de cada tecnología, para una evaluación aún más completa.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad de Córdoba como fuente de financiación, en el marco de la Sostenibilidad de los Grupos de investigación del Departamento de Ingeniería Mecánica asociado al Grupo Ingeniería, Ciencia y Tecnología – ICT, así mismo a la Universidad del Sinú con el apoyo del programa de Ingeniería Electromecánica de la Facultad de Ciencias Básicas e Ingenierías enmarcado dentro del programa de movilidad profesoral entre programas académicos de pregrado y posgrado de facultades de Ingeniería de Instituciones de Educación Superior de la Región Caribe Colombiana ACOFI.

6. REFERENCIAS

- [1] Pando-Martínez, G. E., Velázquez-Limón, N., Saucedo-Carvajal, D., & Luna-León, A. (2014). Determinación de los costos de operación en unidades de enfriamiento por compresión mecánica y absorción. *avances en investigación ambiental en la UABC*, 74.
- [2] Elsafty, A., & Al-Daini, A. J. (2002). Economical comparison between a solar-powered vapour absorption air-conditioning system and a vapour compression system in the Middle East. *Renewable Energy*, 25(4), 569-583.
- [3] Flores Arteaga, J. A. (2010). Método de predicción del desempeño de un enfriador de líquido (chiller) en función de un perfil de demanda. [Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico, Universidad Nacional Centro del Perú]. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/2237>
- [4] Misra, R. D., Sahoo, P. K., & Gupta, A. (2006). Thermoeconomic evaluation and optimization of an aqua-ammonia vapour-absorption refrigeration system. *International Journal of Refrigeration*, 29(1), 47-59.
- [5] Gebreslassie, B. H. (2010). Optimization of environmentally friendly solar assisted absorption cooling systems. *Universitat Rovira i Virgili*.
- [6] Salas Abarrategui, J. (2021). Estudio sobre la aplicación de sistemas de refrigeración por absorción en el buque Almudaina Dos.
- [7] U.S. Department of Energy. (22 de marzo de 2018). Absorption Chillers for CHP Systems. <https://www.energy.gov/eere/amo/articles/absorption-chillers-chp-systems-doe-chp-technology-fact-sheet-series-fact-sheet>.
- [8] Zúñiga-Puebla, H. F., Vallejo-Coral, E. C., & Vega Galaz, J. R. (2019). Análisis termodinámico de un chiller de absorción de 1 y 2 etapas de una planta de cogeneración.
- [9] LG Business Solutions. (14 de octubre 2021). Guía de chillers. <https://www.lg.com/co/business/hvac/guia-de-chillers-para-principiantes>
- [10] HINICIO - TRACTEBEL ENGINEERING S.A. (octubre 2020). Informe técnico económico Villavicencio. <https://www.distritoenergetico.com/wp-content/uploads/2020/10/P009956-2-GP-INF-000015P-Informe-T%C3%A9cnico-Econ%C3%B3mico-Villavicencio.pdf>
- [11] Mejía Gamarra, J. E., & Salazar Cubas, M. A. (2020). Formulación de un Distrito de Enfriamiento,

basado en el análisis de métodos para estimar la carga térmica. [Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico - Eléctrico, Universidad de PIURA].

[12] Álvarez, G. R. (2001). Diseño y evaluación de un edificio inteligente para centros de educación superior. Revista Científica Ingeniería y Desarrollo, (10), 86-93.

✓ Macas Sarabia, J. S., & Toainga Molina, E. E. (2015). Repotenciación y análisis de datos del CHILLER del laboratorio de transferencia de calor, para la determinación de las curvas de enfriamiento. [Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].