

MODELAMIENTO DEL DISTRITO TÉRMICO NORTE DE MONTERÍA INTEGRANDO CHILLERS DE ABSORCIÓN Y COMBUSTIÓN DE BIOMASA

Pedro Manuel Meza Ruiz¹, Ronald David Galván Doria², Samuel Iván Bonilla Gracia³, Jorge Mario Mendoza Fandiño⁴, Miguel Emigdio Doria Oviedo⁵, Jesus David Rhenals Julio⁶

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

Email: pmezaruiz@correo.unicordoba.edu.co

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

Email: rgalvandia19@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

Los distritos térmicos de enfriamiento presentan una alternativa para reducir el impacto ambiental que representa el alto uso de equipos de aire acondicionado convencionales. El uso de chillers de absorción junto a la combustión de biomasa representan una opción viable para mitigar el impacto ambiental generado por los gases, además de mejorar la eficiencia. El siguiente trabajo presenta un modelado y simulación de un distrito térmico para la zona norte de Montería, en el cual se implementa la combustión de biomasa y el uso de chillers de absorción como alternativa. Este modelado fue realizado mediante el software DWSim, donde se tuvieron en cuenta las propiedades de la biomasa usada, el proceso de combustión y de absorción. Los resultados de este estudio muestran el comportamiento de los sistemas de refrigeración por absorción y las ventajas que puede traer el uso de sistemas de absorción frente a los sistemas de compresión.

Palabras clave: Chiller, refrigeración, distrito térmico, combustión de biomas.

Abstract

Thermal cooling districts present an alternative to reduce the environmental impact of conventional air conditioning equipment. The use of absorption chillers and biomass combustion represent a viable option to mitigate the environmental impact generated by the contaminating gases, and at the same time improve the efficiency. The following work presents a modeling and simulation of a thermal district for the northern area of Monteria, in which biomass combustion and the use of absorption chillers are implemented as an alternative. This modeling was done using DWSim software, where the properties of the biomass used, the combustion and absorption process were considered. The results of this study show the behavior of absorption cooling systems and the advantages that can bring the use of absorption systems compared to compression systems.

Keywords: Chiller, refrigeration, Thermal cooling districts, biomass combustion.

1. Introducción

En la actualidad a nivel mundial se está evidenciando una gran tendencia en la implementación de distritos térmicos en conjunto con las energías renovables, debido a este gran auge de este tipo de tecnologías, se está llegando al punto de considerarlas como uno de los ejes principales para una transición energética en distintos países del mundo, teniendo en cuenta que debido al calentamiento global la demanda por refrigeración diariamente ha ido en aumento y además es una con los índices de mayor influencia en el consumo de energía a nivel internacional [1]. Los distritos térmicos pueden definirse como sistemas de generación de energía térmica centralizada con los cuales es posible suministrar variedad de servicios energéticos como, modernización de equipos de climatización, la disminución de la huella de carbono de las ciudades, la utilización de fuentes de energías alternativas no convencionales en grandes ciudades, la disminución de las emisiones de SAO y GEI, de igual forma la reducción la contaminación por refrigerantes tóxicos al medio ambiente [2]

Los distritos térmicos, pueden ir de la mano con sistemas de climatización, existen diversidad de sistemas de refrigeración, los de mayor uso son los sistemas de refrigeración por compresión, sin embargo, presentan una gran variedad de desventajas como el alto consumo de electricidad, altos costos de operación y contaminación, por lo tanto, es necesario buscar alternativas que mejoren considerablemente estos aspectos. Una opción son los sistemas de refrigeración por absorción, estos se desarrollaron para utilizar energía térmica en vez de electricidad como entrada del ciclo, además, que brindan la posibilidad de utilizar varias fuentes de calor como entrada al generador [3].

Gracias a que los sistemas de refrigeración por absorción pueden utilizar energía térmica, en cambio de electricidad, es posible utilizar energías renovables como fuente para su funcionamiento, las energías renovables es posible definir las como energías “limpias” que se obtienen de procesos naturales, son duraderas o se pueden restituir, estas generan energía disminuyendo considerablemente la contaminación al medio ambiente debido a que liberan pequeñas cantidades de los denominados gases de efecto invernadero, entre las principales clases tenemos solar, geotérmica, eólica, hidroeléctrica y biomasa [4]. La biomasa es un recurso renovable y abundante que incluye materiales orgánicos de plantas, animales y microorganismos, como madera, residuos agrícolas, estiércol animal, algas y desechos biodegradables, puede utilizarse para la producción de energía y otras aplicaciones, además, en la actualidad es reconocida como una fuente de energía renovable, se considera que la biomasa desempeña un papel crucial en la

reducción de carbono y se ha centrado ampliamente en el campo de la energía [5]

A nivel internacional se encuentra gran cantidad de diferentes distritos térmicos con variedad de sistemas para su climatización, un estudio en Dinamarca evaluó un distrito térmico que usaba un chiller, el cual es un equipo de refrigeración por absorción, y que a su vez tenía como fuente energías renovables, y cuyo objetivo principal era analizar el comportamiento del sistema de refrigeración cuando se tienen distintas fuentes de energías renovables, para este caso la energía solar fotovoltaica y térmica, los combustibles de biomasa, las bombas de calor geotérmicas, los pozos y la energía eólica; y posteriormente demostrar cual es la fuente de energía que menos produce gases de efecto invernadero [6].

A nivel nacional existe un proyecto conocido como “Distritos Térmicos en Colombia”, el cual pretende convertir a Colombia en un país pionero en la implementación de distritos térmicos en Latinoamérica, este proyecto es liderado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, a través de la Unidad Técnica Ozono - UTO y la Dirección de Cambio Climático y Gestión del Riesgo, el Ministerio de Minas y Energía y la Unidad de Planeación Minero-Energética – UPME. En el año 2021 se realizó el “Tercer Congreso Internacional de Distritos Térmicos”, en donde se presentaron una serie de artículos con el fin de conocer, desarrollar e implementar los distritos térmicos en el país [7]

Entre los artículos expuestos, se encuentra “Distrito Térmico Centro Empresarial y de Negocios Potenza”, el cual está ubicado en la ciudad de Villavicencio, en el departamento del Meta, y la empresa Llanogas es la encargada del desarrollo de dicho distrito térmico, este consta de una planta de Generación de Energía Térmica con una capacidad de entrega de hasta 516 TR, el módulo que se pretende construir estará conformado por un tanque de almacenamiento térmico del tipo estratificado, un chiller eléctrico y uno por absorción, este último funcionará a partir de calor indirecto producido por microturbinas a base de gas que se encargan de darle electricidad al primer chiller mencionado, manejando así fuentes energéticas renovables, que garantizan altas eficiencias de operación [8].

Adicional al caso anterior, se presenta una “Propuesta de un distrito térmico como centro para el desarrollo sostenible del norte de Buga”, esta ciudad está ubicada en el departamento del Valle del Cauca, el estudio consiste proponer un distrito térmico para la ciudad intermedia de Guadalajara de Buga en el Valle del Cauca, con el uso de energía renovable, es decir, un sistema solar térmico y el uso de un chiller de absorción, para suplir la demanda de frío y

climatización de un hospital público y un proyecto de vivienda de interés social, este sistema pretende usar colectores solares de placa plana para la recolección de agua caliente de tal forma que se pueda suplir la demanda de agua caliente para el chiller del sistema y de esta forma incluir el uso de energías renovables en el sistema [8].

De manera local en la ciudad de Montería, se realizó un estudio sobre el distrito térmico norte, en el cual seleccionó una serie de edificios y se organizaron según su actividad económica principal de tal forma que se pudiera tener un perfil de carga aproximado; para este caso el autor seleccionó chiller eléctricos condensados por agua del río Sinú, de tal forma que se evita el uso de torres de enfriamiento y adicionalmente las emisiones de gases de efecto invernadero, el sistema consta de siete chiller eléctricos, la respectiva red de distribución para el distrito térmico y un intercambiador de calor para el agua del río Sinú; adicionalmente se realiza un estudio comparativo con un sistema convencional para un distrito térmico y resulta con mayor viabilidad el evaluado en el proyecto [9].

En el siguiente estudio se plantea el modelamiento de un sistema de refrigeración por absorción aprovechando la combustión de biomasa para el distrito térmico norte de la ciudad de Montería, ubicada en el departamento de Córdoba, Colombia; con el objetivo de mostrar una alternativa que permita disminuir considerablemente los altos consumos por climatización en este sector de la ciudad y adicionalmente mostrar uno de los muchos usos existentes de las energías renovables, que para este caso es la biomasa y más exactamente la cascarilla de arroz, demostrando que es posible reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero y a su vez cumplir con los objetivos planteados por las naciones unidas para el desarrollo sostenible.

2. Metodología

En esta sección se abordan los pasos que se ejecutaron para realizar el modelado del distrito térmico y la combustión de la biomasa, la biomasa que se uso de referencia para este estudio fue de la referencia de un estudio desarrollado en la zona (Sagastume et al., 2021) estas actividades fueron realizadas haciendo uso del software DWSim, el cual tiene distintas bases de datos que se pueden emplear para el cálculo de propiedades de diversas sustancias. En nuestro caso se utilizó el paquete de propiedades de *Peng-Robinson 1978* para la realización de la combustión y el paquete de propiedades *Peng-Robinson-Stryjek-Vera* para el sistema de absorción.

Estos paquetes de propiedades están basados en las ecuaciones de estado que llevan el mismo nombre. En sus ecuaciones se encuentran dos parámetros de estado

cúbicos a que es para fuerzas intermoleculares y b para covolumen. De igual forma la variable m que determina el parámetro ajustable y α que es la función alfa. El modelo matemático que representa la ecuación de *Peng-Robinson 1978* es el siguiente:

$$P = \frac{RT}{v-b} * \frac{a(T)}{v(v+b)+b(v-b)} \quad (1)$$

$$a = a_c \alpha(T_r, \omega) = 0.45724 \frac{R^2 T_c^2}{P_c} \alpha(T_r, \omega) \quad (2)$$

$$b = 0.077796 \frac{RT_c}{P_c} \quad (3)$$

$$\alpha = [1 + m(1 - T_r^{0.5})]^2 \quad (4)$$

$$m = 0.37464 + 1.5422\omega - 0.26922\omega^2 \quad (5)$$

La ecuación *Peng-Robinson* se puede utilizar para predecir con precisión las presiones de vapor de sustancias puras y equilibrio líquido vapor en mezclas [10].

También se presenta el modelo matemático de la ecuación de estado de *Peng-Robinson-Stryjek-Vera*, el cual es una variación del primero. En esta variación se encuentra la temperatura reducida T_r , el factor acéntrico de Pitzer ω y finalmente m_0 que es el parámetro ajustable en ecuaciones de estado, pero modificado.

$$m = m_0 + [m_1 + m_2(m_3 - T_r)(1 - \sqrt{T_r})](1 + \sqrt{T_r})(0.7 - T_r) \quad (6)$$

para $T_r > 1$ y $m = m_0$ para $T_r \geq 1$

$$m_0 = 0.378893 + 1.4897153\omega + 0.0196544\omega^2 \quad (7)$$

Por otra parte, para el modelado o simulación de los procesos se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- El proceso de combustión se trata de un proceso ideal, adiabático y sin pérdidas de energía.
- La combustión fue realizada a partir de 1 mol de biomasa, en la cual el elemento base es el carbono.
- Todos los sistemas se trabajan en estado estacionario.
- El sistema de absorción es de simple efecto.
- Los cambios de presión solo se consideran en las válvulas y en la bomba.

2.1. Descripción del sistema

Inicialmente el sistema consta de la sección en donde se realiza la combustión, en dicho proceso se ingresa la biomasa junto al aire, los cuales ingresan en un mezclador antes de pasar al reactor. Ya en el reactor se realiza el proceso de combustión de la biomasa, la cual se da a través de una reacción de equilibrio, debido a que el reactor empleado es un reactor de Gibbs.

Después del sistema de combustión, se encuentra el modelado del chiller, que emplea un sistema de refrigeración por absorción, el cual es de una sola etapa o de simple efecto. Este sistema utiliza como fuente de energía los vapores generados en la combustión de la biomasa de tal forma que permita generar poder y así llevar a cabo el proceso de refrigeración. De igual forma es importante mencionar que este sistema fue modelado utilizando una solución de bromuro de litio y agua ($\text{LiBr-H}_2\text{O}$), en la cual el agua es el refrigerante y el bromuro de litio el absorbente.

Continuando, en este modelado la solución entra al generador en donde se calienta con el calor producido por los vapores de combustión, luego pasa al separador en donde sale el agua en estado de vapor hacia el condensador y el LiBr como líquido hacia el absorbedor.

Después de pasar por el condensador, el agua, como en cualquier ciclo de refrigeración, pasa a través de una válvula de expansión en donde debido a la caída abrupta de presión se evapora a una muy baja temperatura. Luego este vapor de agua pasa por el evaporador antes de llegar al absorbedor en donde se

vuelve a mezclar con el LiBr para posteriormente pasar a una bomba, la cual eleva la presión de la mezcla y así iniciar el ciclo nuevamente.

2.2. Como se acopla el sistema de absorción al de combustión

El sistema de combustión y el sistema de absorción están conectados mediante un intercambiador de calor,

en el cual se hace circular como el fluido caliente los vapores que se producen en la combustión y como fluido frío la solución de $\text{LiBr-H}_2\text{O}$. De esta forma se aprovecha el calor generado por la combustión de la biomasa para poner en funcionamiento el sistema de refrigeración por absorción.

En la siguiente figura se puede apreciar ambos sistemas acoplado.

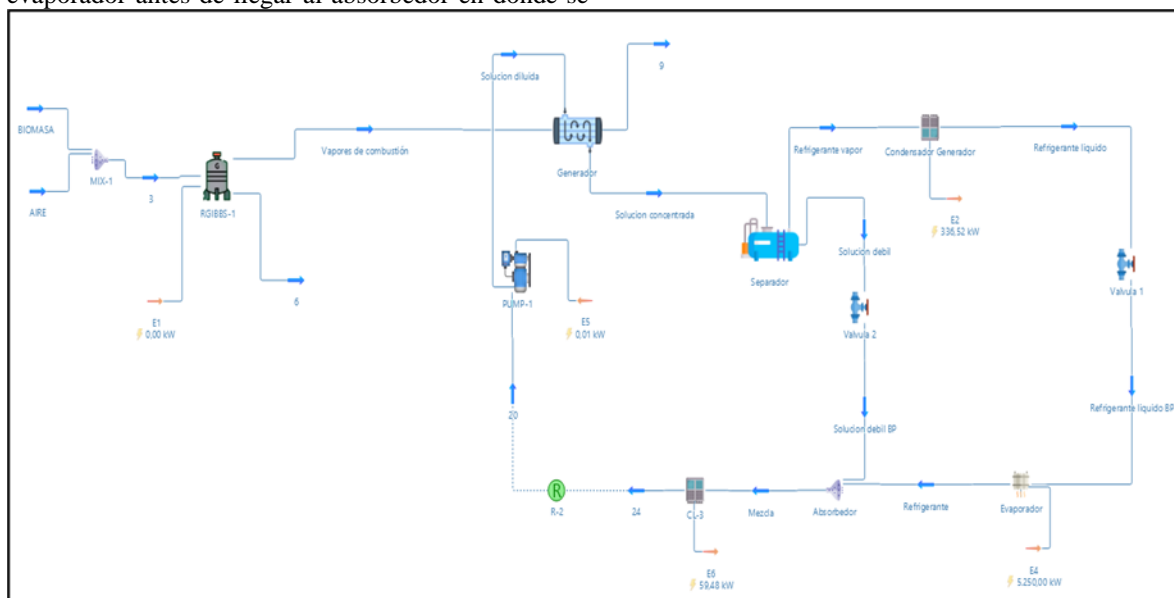


Figura 1. Diagrama de flujo de los sistemas acoplado Fuente: elaboración propia

2.3. Modelamiento de la carga

Para el modelado de la carga se utilizó como referencia a [11]. A diferencia de (Ríos-Ocampo et al., 2022b), donde se utilizan algunas ecuaciones donde se

relacionan varios parámetros, en nuestro caso se tomaron como referencia algunas curvas típicas de perfiles de carga para ciertas aplicaciones. En la figura se muestra la variación de estas curvas de acuerdo a la hora del día.

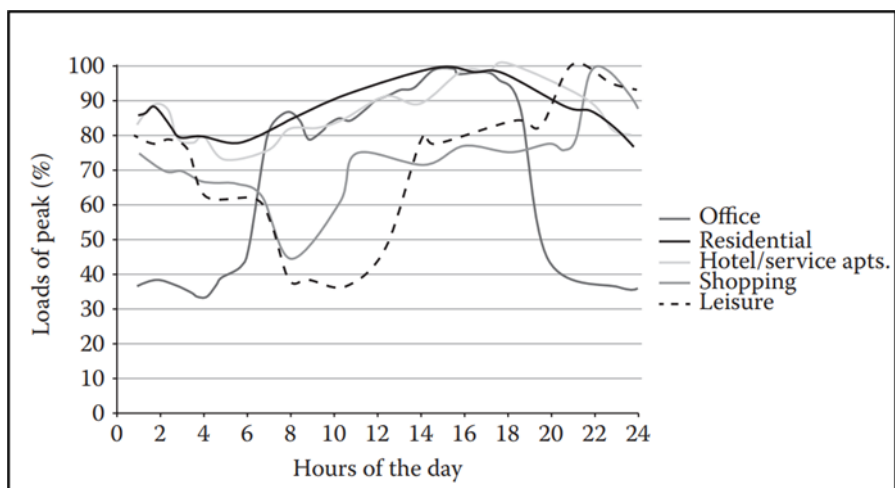


Figura 1. Curvas típicas de los perfiles de carga para distintas aplicaciones Fuente: . [11]

2.4. Demanda Energética

A parte de estas curvas, también se tuvo en cuenta la demanda de energía en cada una de las empresas y/o instalaciones beneficiarias del distrito térmico, además del área de cada una. Adicionalmente, debido a la cantidad de lugares se optó por organizarlas en sectores

o grupos dependiendo de su actividad económica principal. En las figuras se muestra estos parámetros, de acuerdo [9].

Montería	Tipo de Edificio	Área [m ²]
Clínica IMAT	Salud	4,500
Clínica DIAC	Salud	1,967
Clínica Montería	Salud	7,000
Homecenter Norte	Comercial	12,000
Almacén Éxito Norte	Comercial	3,100
Colegio Sagrada Familia	Educación	7,000
Centro Comercial Buenavista	Comercial	33,500 (*)
Surtigas	Oficina	800
Universidad Católica Luis Amigó	Educación	4,000
Hotel GHL	Hotel	8,460
Centro Comercial Alamedas	Comercial	29,055 (*)
Centro Comercial Places Mall	Comercial	16,000

Figura. 3 Áreas de cada empresa o instalación del distrito térmico. [9]

Tipología	Demanda anual [kWh/m ² -año]
Salud	678
Oficina	339
Educación	313
Hotel	633
Comercial	679

Figura. 4 Demanda anual de energía por sector o grupo.[9]

Luego para realizar los modelos tanto de combustión de biomasa como del sistema de refrigeración, se deben agregar los componentes propios de cada modelado.

2.4 Simulación del sistema

Una vez ingresados los datos al software este se encarga de realizar la simulación de los procesos. Este programa nos da diversas opciones de cálculo por lo cual se puede ir variando su configuración para así obtener los resultados más apropiados o cercanos a la realidad.

Para la combustión de la biomasa, debido a que el programa no tiene específicamente una entrada llamada biomasa, se debe ingresar los elementos que la constituyen y la fracción molar de cada uno y luego poder conectarla, junto con el aire, al reactor. En el reactor se debe ingresar la ecuación estequiométrica para que pueda realizar el proceso de combustión, y dado a que el reactor utilizado es un reactor de Gibbs, se debe ingresar una ecuación de equilibrio. En la figura se muestra el proceso de combustión simulado.

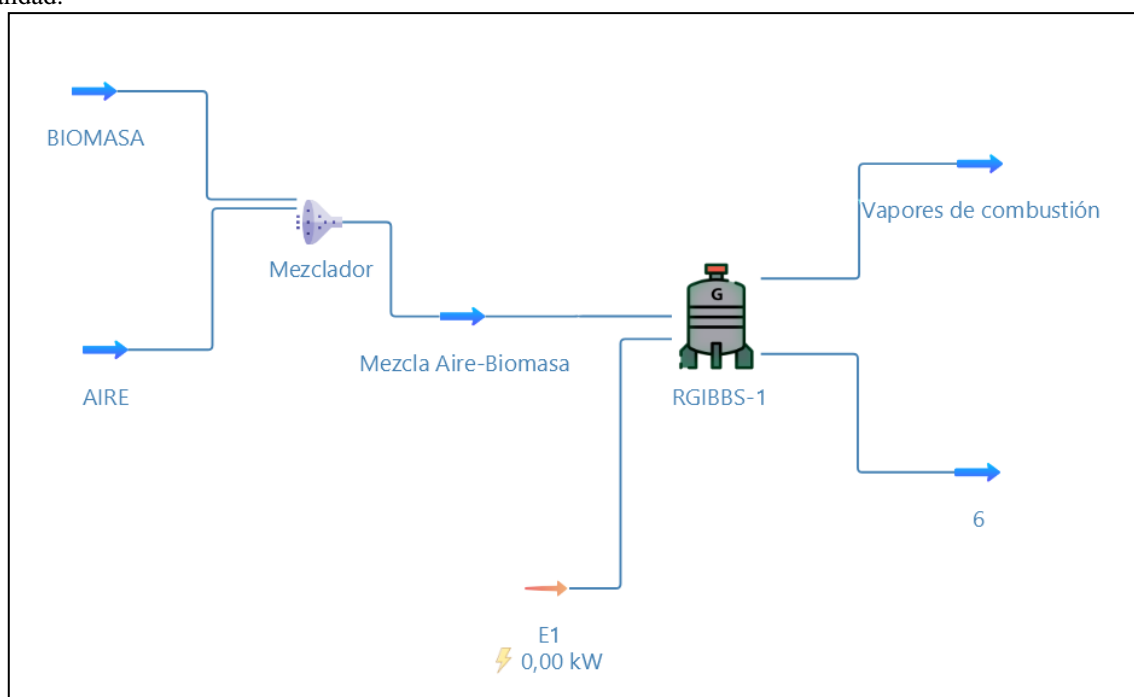


Figura. 5 Diagrama de flujo de la combustión.

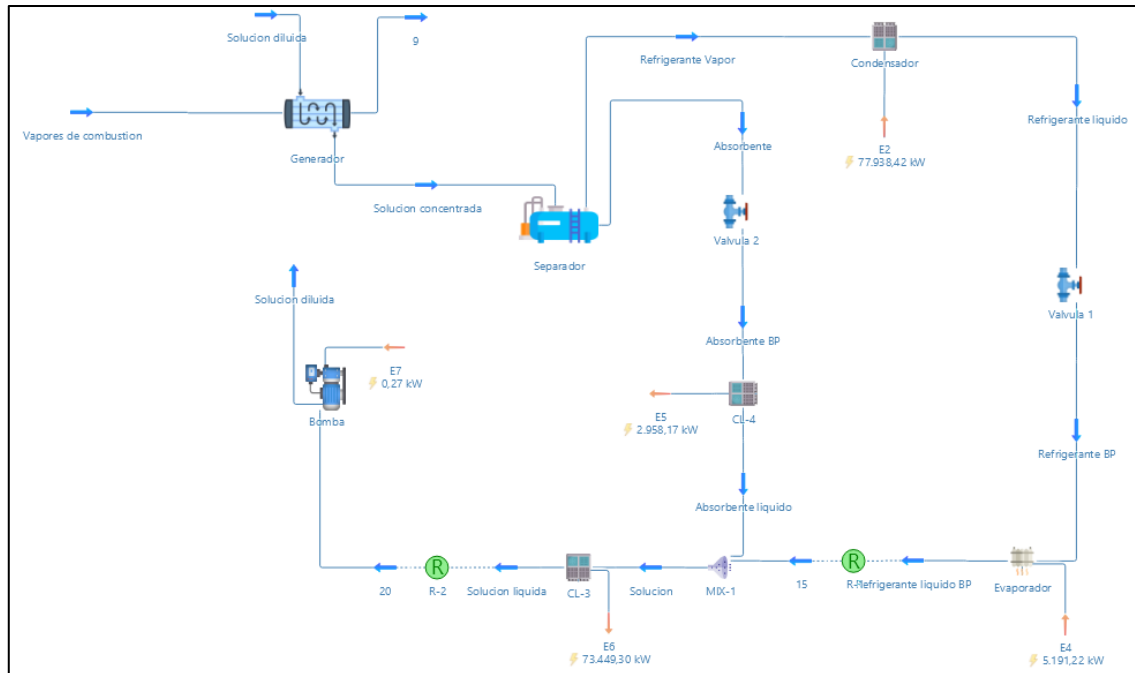


Figura. 6 Diagrama de flujo sistema de refrigeración por absorción.

Asimismo, el programa no cuenta con un componente específico llamado chiller, por lo que es necesario ingresar de manera individual los componentes del mismo y así representar el proceso que estos realizan. También se deben ingresar ciertos datos para parametrizar el sistema y que este realice la simulación. En la figura se muestra la simulación realizada del sistema de refrigeración por absorción.

Cabe destacar que el diagrama de flujo representado en la figura anterior se realizó tomando como referencia el realizado por [13], pero añadiendo algunas modificaciones.

2.5 Análisis de sensibilidad. Como se comporta la carga en el sistema.

Se realizó un análisis de sensibilidad con ayuda del programa para ver el comportamiento de algunas variables como el COP, la carga del sistema, la relación aire-combustible y el calor del generador. Dicho comportamiento se muestra en la sección de resultados mediante unas graficas. El COP para un sistema de refrigeración por absorción es la razón entre el calor absorbido en el evaporador y la suma del calor en el generador y el trabajo de la bomba.

Se representa mediante la siguiente ecuación:

$$COP = \frac{Q_{evap}}{Q_{gen} + W_{bomba}} \quad (8)$$

Los coeficientes de rendimiento (COP) en chillers de efecto simple, en condiciones nominales, varían típicamente de 0,7 a 0,8 [14].

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para el modelamiento del distrito térmico, tanto en la combustión como en el cálculo de la carga térmica, así como en el modelamiento del chiller de absorción.

Al final de esta sección también se hace una comparativa entre sistemas de refrigeración por absorción y por compresión, y por supuesto un análisis de los beneficios ambientales que traen consigo el uso de sistemas de absorción.

3.1 Obtención de la carga térmica

En primer lugar, se tiene el perfil de carga de refrigeración para el distrito térmico de la zona norte de montería, que se muestra en la siguiente figura

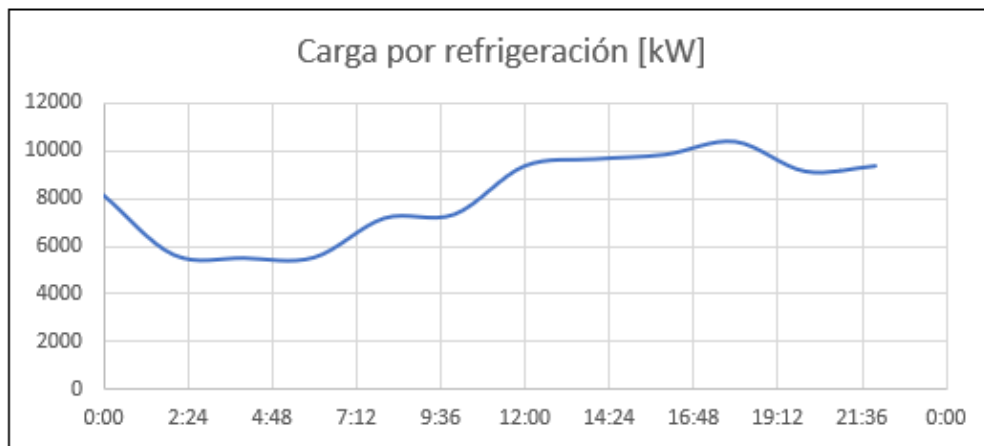


Figura. 7 Perfil de carga térmica del distrito.

3.2 Ciclo de refrigeración por absorción

La tabla 2 muestra los resultados de la simulación del sistema de refrigeración por absorción, del cual se toma como valores más importantes la temperatura, presión y concentración del refrigerante.

Por otra parte, la tabla 3 muestra los consumos de energía de cada elemento del sistema, que son también parte fundamental para buscar un ahorro energético. También se tiene que para este sistema el COP tiene un valor de 0.78, que puede variar de acuerdo a la carga térmica.

Tabla 2. Datos ciclo de refrigeración por absorción

Ítem	Flujo (kg/s)	másico	Temperatura (°C)	Presión (kPa)	Concentración Refrigerante (%)
Solución diluida	68,15		40	12,3	45
Refrigerante vapor	30,6624		112	12,3	100
Refrigerante líquido	30,6624		49,88	12,3	100
Refrigerante BP	30,6624		3,51	0,8	100
Refrigerante líquido BP	30,6624		30	0,8	100
Absorbente	37,4889		112	12,3	0,017
Absorbente BP	37,4889		83	12,3	0,017
Absorbente líquido	37,4889		50	0,8	0,017
Solución	68,15		36,67	0,8	45
Solución líquida	68,15		7,37	0,8	45

Tabla 3. Flujos de energía en el sistema.

Ítem	Valor (kW)
Capacidad del evaporador	5191
Calor del generador	6625,27
Calor rechazado del condensador	77938,42
Calor del absorbedor	73449,3
Potencia de la bomba	0,274

3.3 Resultados del análisis de sensibilidad

Las figuras 9 y 10 muestran la variación del COP en todo el sistema, en donde se puede ver claramente la dependencia de este respecto a la carga térmica del

distrito. También se puede ver en la figura 11 como varía este de acuerdo a la variación tanto del calor del generador como en la carga del sistema, se puede apreciar que a capacidades más bajas el COP es más alto.

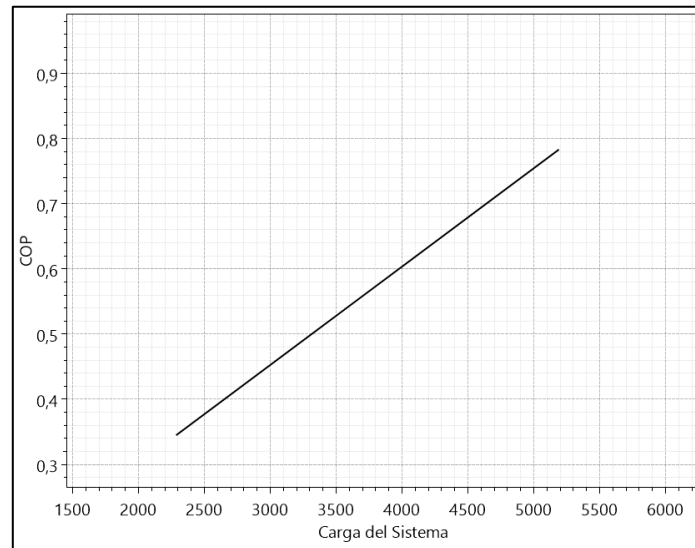


Figura. 9 Variación del COP respecto a la variación de la carga térmica del sistema.

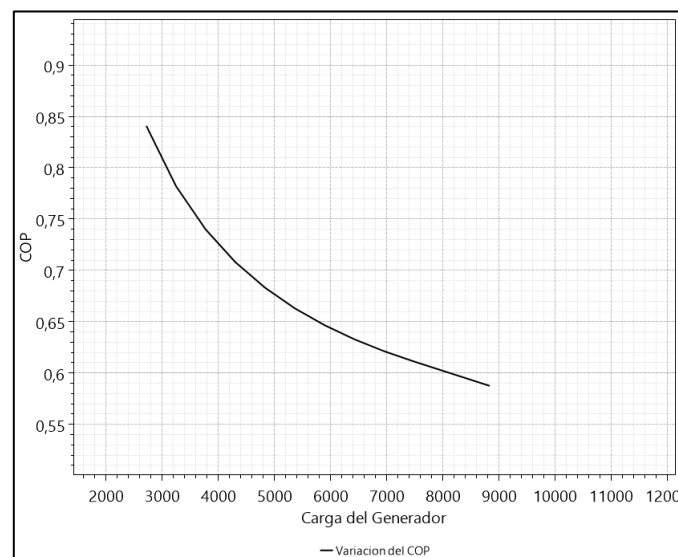


Figura. 10 Variación del COP respecto a la variación de la carga del generador.

A través del análisis de sensibilidad también se pudo establecer la variación del calor del generador de acuerdo a la relación aire-combustible en la combustión de la biomasa, mostrada en la figura 11. Esta relación es variada en el flujo másico de los

vapores de combustión, sin embargo, no se toma en cuenta si afecta en la composición final de estos vapores.

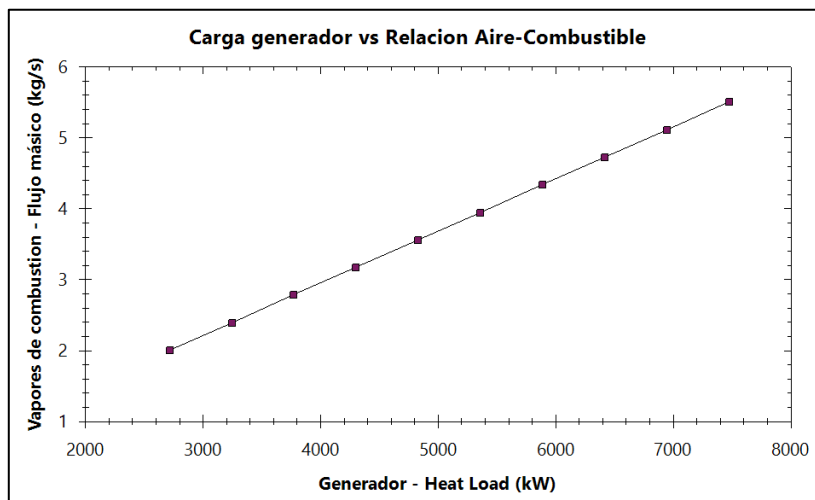


Figura. 11 Cambio de la carga del generador respecto a la variación de la relación aire- combustible

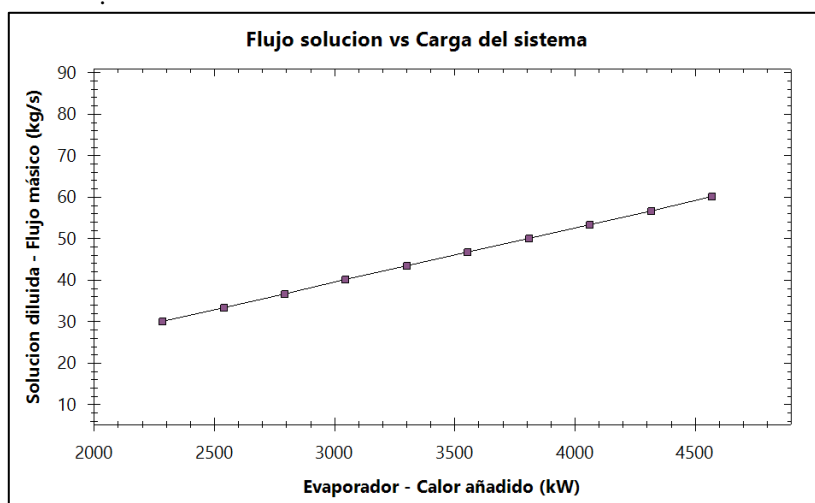


Figura. 12 Cambio de la carga del sistema de acuerdo a la variación del flujo de solución.

Finalmente, el distrito cuenta con una red de distribución correspondiente a las distancias entre cada una de las empresas beneficiarias. De acuerdo a [15], este sistema tiene una longitud de 2900 metros lineales, donde dichas empresas se conectan entre sí y al distrito.

En las figuras 13 y 14 se muestran los esquemas del distrito térmico y del sistema de distribución respectivamente.

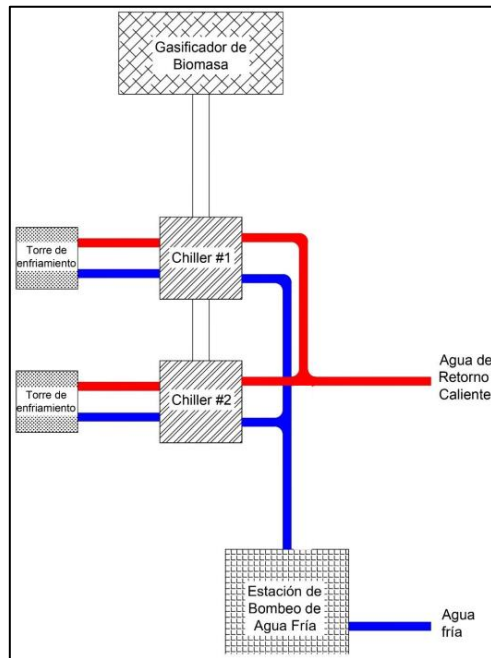


Figura. 13 Esquema del distrito térmico. Fuente: Autor

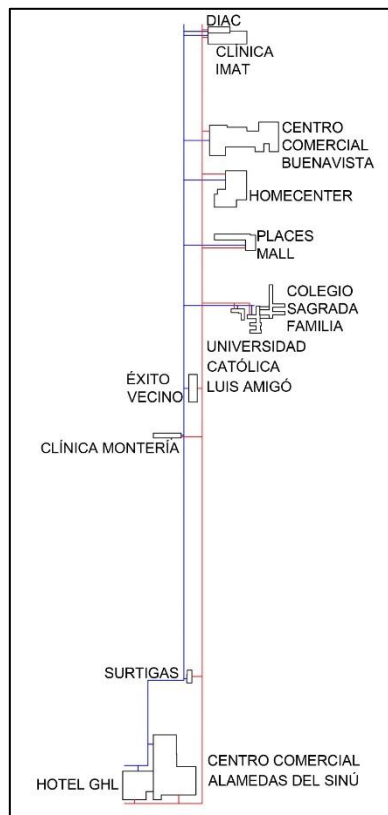


Fig. 14 Esquema del sistema de distribución.

3.4 Comparación con un sistema de refrigeración por compresión

El sistema de refrigeración por absorción al ser comparado con el sistema por compresión va a tener

una serie de aspectos a favor en la comparación. Iniciando por el aspecto energético, a pesar de que los sistemas por compresión tienen unos COP más altos que los de absorción, aunque si bien no se pueden comparar los COP de los sistemas de compresión con los de

absorción dado que estos últimos consumen calor y no trabajo [16]; en un sistema por compresión van a presentar un mayor consumo de energía eléctrica, lo cual se verá reflejado económicamente, por otro lado los sistemas por absorción gracias a su versatilidad es posible utilizar como fuente, distintas clases de energías renovables, y además que debido a su funcionamiento la demanda por energía es mucho más baja al ser comparada con los sistemas de compresión, por lo tanto, mediante un modelo matemático de un sistema de absorción se obtienen resultados de coeficientes de COP en un rango entre 0,73 a 0,79 lo cual resulta muy favorable para este tipo de sistemas [17]. En nuestro estudio se obtuvieron resultados similares, el COP para el sistema modelado está en el un rango entre 0,84 a 0,58 que nos permiten validar el modelo según COP; el cual es un rango muy favorable para los sistemas de absorción, mostrando así la eficiencia pueden tener este tipo de sistemas.

También, por otra parte el tamaño es un factor a comparar, en este caso los sistemas por compresión resultan mejor para pequeños lugares, por ser más compactos, sin embargo, si se piensa en edificaciones grandes o medianas con una carga de refrigeración relativamente grande, ambos sistemas funcionan, pero los sistemas por absorción van a presentar una eficiencia mayor y por ende mejores resultados al comparación que los sistemas por compresión, por eso los sistemas por absorción terminan siendo prácticamente exclusivos para sitios donde se necesiten refrigerar áreas de gran envergadura.

Debido a que los sistemas de refrigeración por absorción tienen como principio de funcionamiento, es decir, operan mediante la transferencia de masa, estos en su sistema constan de intercambiadores de calor, los cuales es posible modificarlos de tal forma que se pueda mejorar la transferencia de calor entre los fluidos que se están moviendo, por lo tanto es posible también obtener unos mejores coeficientes de COP para este tipo de sistemas, lo cual representa una gran ventaja con los sistemas de compresión que a pesar de tener altos coeficientes COP para obtener mejoría, se deben realizar cambios más representativos en su estructura y que pueden resultar mucho más costosos. De igual manera, en los sistemas por absorción, es posible usar diversidad de soluciones refrigerantes, las cuales, dependiendo de sus características, también pueden mejorar la transferencia de calor del intercambiador, obteniendo como resultado un sistema por absorción con mejor rendimiento.

más atractivo para utilizar [18].

4. Conclusiones

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el modelamiento y simulación del chiller de absorción para el distrito térmico, se puede concluir que es necesario manejar grandes flujos de solución para

cumplir con la carga requerida, lo que hace necesario que los chillers deban tener un tamaño considerable.

La variación del COP va desde (0.35 – 0.78), arrojando una dependencia de la carga del sistema. Sin embargo para el generador el COP va cayendo discretamente entre (0.84-0.58) con una carga del generador de 2800 y 8800 kW.

Por esa razón, para que el COP sea óptimo, se debe trabajar con altas cargas, pero esto no quiere decir que no se pueda trabajar con cargas más bajas, a causa de que el perfil de carga térmica indica que esta fluctúa y por lo tanto presenta valores bajos indicando así menos demanda de refrigeración por lo que la carga del distrito es baja.

Finalmente, se puede decir que a pesar de que los sistemas de absorción tienen COPs más bajos, respecto a los sistemas de compresión, esto no indica que sean menos viables para utilizar. Por el contrario, debido a que usan calor residual, son más eficientes si se aprovecha este calor de manera óptima, ayudando en la reducción del impacto ambiental y también un ahorro energético y económico.

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] J. P. Ríos-Ocampo, Y. Olaya, A. Osorio, D. Henao, R. Smith, and S. Arango-Aramburo, "Thermal districts in Colombia: Developing a methodology to estimate the cooling potential demand," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 165, p. 112612, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112612>.
- [2] C. Andrés *et al.*, "Solución energética para ciudades sostenibles: Distrito térmico La Babilla del Malecón (Barranquilla) Energy solution for sustainable cities: La Babilla del Malecón (Barranquilla) District Cooling System," 2022.
- [3] H. F. Zuñiga-Puebla, E. C. Vallejo-Coral, and J. R. V. Galaz, "Thermodynamic analysis of one and two stages absorption chiller powered by a cogeneration plant," *Ingenius*, vol. 2019, no. 21, pp. 41–52, 2019, doi: [10.17163/ings.n21.2019.04](https://doi.org/10.17163/ings.n21.2019.04).

- [4] J. Bustamante, K. Huamani, L. Lozano, and M. Morales, "Energías renovables y gestión ecológica: una revisión teórica Renewable energy and ecological management: a theoretical review," *Valor Agregado*, vol. 9, pp. 65–88, 2022.
- [5] T. Li *et al.*, "Performance analysis of an integrated biomass-to-energy system based on gasification and pyrolysis," *Energy Convers Manag*, vol. 287, p. 117085, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.117085>.
- [6] K. Hara Chakravarty, M. Sadi, H. Chakravarty, A. Sulaiman Alsagri, T. James Howard, and A. Arabkoohsar, "A review on integration of renewable energy processes in vapor absorption chiller for sustainable cooling," *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 50, p. 101822, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101822>.
- [7] ACAIRE, "Memorias Tercer Congreso Internacional de Distritos Térmicos. Una alternativa ambiental y de desarrollo sostenible.," 2021. [Online]. Available: www.acaire.org
- [8] ACAIRE, "Memorias Tercer Congreso Internacional de Distritos Térmicos. Una alternativa ambiental y de desarrollo sostenible.," 2021. [Online]. Available: www.acaire.org
- [9] HINICIO - TRACTEBEL ENGINEERING S.A, "Promoción de Distritos Térmicos en Colombia. Informe Técnico Económico Montería," 2019.
- [10] G. Y. Ramírez Morales, "USO DE LA ECUACIÓN DE PENG-ROBINSON PARA PREDECIR EQUILIBRIO DE FASES DE MEZCLAS," 2022.
- [11] A. A. Olama, "DISTRICT COOLING Theory and Practice," 2016. [Online]. Available: www.ebook3000.com
- [12] J. P. Ríos-Ocampo, Y. Olaya, A. Osorio, D. Henao, R. Smith, and S. Arango-Aramburo, "Thermal districts in Colombia: Developing a methodology to estimate the cooling potential demand," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 165, p. 112612, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112612>.
- [13] A. B. Camacho Benalcázar, "SIMULACIÓN DINÁMICA Y COMPARACIÓN DE DOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN- ABSORCIÓN AMONÍACO/AGUA Y AGUA/BROMURO DE LITIO," 2022.
- [14] ASHRAE, 2014 *Ashrae handbook. Refrigeration*. 2014.
- [15] United Nations, "TERMS OF REFERENCE ENERGY ASSESSMENT, DEVELOPMENT OF BASIC ENGINEERING DESIGN AND FEASIBILITY STUDY FOR THE CIUDAD-NORTE ENERGY DISTRICT IN MONTERIA-COLOMBIA PROJECT Energy Districts in Colombia-Phase II," 2022.
- [16] J. A. Rodríguez, "Introducción a la Termodinámica-TERMODINÁMICA CON ALGUNAS APLICACIONES DE INGENIERÍA."
- [17] J. Ham, J. Yong, O. Kwon, K. Bae, and H. Cho, "Experimental investigation on heat transfer and pressure drop of brazed plate heat exchanger using LiBr solution," *Appl Therm Eng*, vol. 225, p. 120161, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.120161>.
- [18] H. Saastamoinen and S. Paiho, "Prospects for absorption chillers in Finnish energy systems," *Energy Procedia*, vol. 149, pp. 307–316, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.08.194>.