



7th INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION

“CLEANER PRODUCTION FOR ACHIEVING SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS”

Evaluación del Potencial de la Refrigeración por Absorción en Centros Comerciales de Barranquilla, Colombia

RODRÍGUEZ TOSCANO, A.D.^{A*}, SAGASTUME GUTIÉRREZ A. ^A

a. Universidad de la Costa

**Corresponding author, arodrigu83@cuc.edu.co*

Resumen

En este estudio se analiza el potencial energético de un sistema de refrigeración por absorción con colectores solares en diferentes centros comerciales de Barranquilla. Se realizaron mediciones en campo de los sistemas de refrigeración y se analizaron los beneficios de esta tecnología en comparación con los sistemas de refrigeración por compresión en uso. Los resultados muestran que introducir la refrigeración por absorción, puede generar un ahorro de electricidad de hasta un 74,25%, con una disminución de hasta 47,12 Toneladas/año de CO₂ equivalente por el porcentaje sin uso de electricidad.

Palabras llave: Refrigeración, absorción, electricidad, colector solar y centro comercial.

1. Introducción

El cambio climático y el incremento del consumo de energía son problemas interrelacionados y de gran interés global (Pérez et al., 2008; Chua et al., 2013; Granados et al., 2015). En particular, el sector comercial y el residencial consumen aproximadamente el 40% de la electricidad a nivel global, (Chua et al., 2013; Aune et al., 2016; Amaris Castilla, 2013). Este 40%, es utilizado para suplir los requerimientos de calefacción, ventilación, refrigeración e iluminación fundamentalmente (Aune et al., 2016). En general, los sistemas de HVAC representa el 50% del consumo de energía del sector residencial y comercial, es decir, que los sistemas HVAC son los responsables del 20% del consumo global de energía (Deng et al., 2011; Chua et al., 2013; Pérez et al., 2008; Abduljalil et al., 2012). Por otra parte, el consumo de energía de estos sectores generó la emisión de 31,600 millones de toneladas de CO₂ equivalente en 2011, un incremento del 3,2% respecto al 2010 (International Energy Agency, 2018). En la literatura especializada, se pronostica un aumento significativo en la demanda energética de la refrigeración en edificios comerciales y residenciales en los próximos años, lo que implica un incremento de los impactos ambientales asociados (Chua et al., 2013; Keppler, 2018).

El sistema de refrigeración más utilizado en el sector comercial y residencial es el de refrigeración por compresión (Abduljalil et al., 2012; Deng et al., 2011; Fong et al., 2010), sin embargo, este demanda alto consumo de electricidad para su explotación o

“CLEANER PRODUCTION FOR ACHIEVING SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS”

funcionamiento (Castilla, 2013; Román, 2006; Salgado Mangual, 2008; Barrientos, 2016).

Por otro lado, hay varios países que poseen características propicias para la implementación de tecnologías no convencionales (UPME, 2018; Gebreslassie, 2010; Abduljalil et al., 2012) con el fin, de cubrir la demanda de frío en el sector comercial. Colombia tiene un alto potencial de energía solar, en especial la Costa Atlántica (UPME, 2018), lo que favorece la introducción de tecnologías que aprovechen la energía solar térmica y fotovoltaica (Srikihirin et al., 2001; Chua et al., 2013) e incluso, aumenta el potencial de recuperación del calor residual de otras tecnologías convencionales gracias a las condiciones ambientales propias de la región (Dorothee Keppler, 2018; TECHNOGLASS S.A, 2016; Gebreslassie, 2010; Wunderground, 2017).

Una alternativa a la refrigeración por compresión considerando los factores anteriormente mencionados, es la refrigeración por absorción, que incluye las mismas etapas que el ciclo por compresión (Srikihirin et al., 2001; Chua et al., 2013). La principal diferencia entre ambos ciclos, radica en el uso de un sistema de absorción en lugar de un compresor (Srikihirin et al., 2001; Chua et al., 2013). El funcionamiento de los sistemas de refrigeración por absorción, dependen de la cantidad y calidad de la fuente de calor disponible. En el caso del uso de energía solar térmica, también depende de las condiciones ambientales (Argiriou et al., 2005; Román, 2006; Assilzadeh et al., 2005; Gebreslassie, 2010; Ketfi et al., 2017). En relación a los ciclos de absorción, existen de simple efecto, doble efecto, triple efecto entre otros. Los ciclos de refrigeración varían su configuración e implementan diferentes fuentes de calor y en algunos casos, aplican otros componentes por ello, serán discutidos con detalle en la sección de materiales y métodos.

Recientemente, en el departamento del Atlántico, Colombia, una empresa manufacturera presentó, un trámite de certificación de deducción de impuestos de renta por inversiones en control y mejoramiento del medio ambiente a través de la implementación de un sistema de refrigeración por absorción (TECNOGLASS S.A, 2016). Un chiller por compresión de 480 kW se va a reemplazar por un chiller de absorción. De esta forma, se espera que los 4.130 MWh/año que se consumía el chiller anterior, sean 51 MWh/año reduciendo conjuntamente, 2.144 toneladas por año de CO₂. Esta tecnología, tiene un costo de 1.035.000.000 COP de inversión, la cual, es más elevada que el chiller por compresión (TECNOGLASS S.A, 2016).

Conocer las potencialidades de la refrigeración por absorción en el sector comercial de Barranquilla abre el camino a implementar estrategias de cambio tecnológico que favorecen un ahorro del consumo eléctrico y disminuye la generación de los gases de efecto invernadero asociados a la generación eléctrica. Esta investigación, tiene como objetivo evaluar el potencial de la introducir sistemas de refrigeración por absorción en tres centros comerciales de Barranquilla, Colombia e identificar las barreras existentes para su implementación.

2. Métodos

A continuación, se presenta el método que se empleó para la investigación y detalles importantes en los ciclos de absorción y energía solar en estudio.

2.1 Ciclos de absorción

En cuanto al desarrollo de los sistemas de refrigeración por absorción y tipos según su configuración se destacan, los ciclos de absorción de simple efecto, los ciclos de absorción de doble efecto, los ciclos de absorción de flujo paralelo, los ciclos de absorción de triple efecto, los ciclos de absorción de medio efecto, el sistema GAX, los sistemas de absorción con recuperación de calor, los sistemas de absorción con eyectores, el sistema Eames y Wu (uso de eyector y una bomba de calor para recuperación de calor en el generador), los sistemas de absorción con termosifones, los sistemas de absorción con mecanismo de difusión, los sistemas de absorción por osmosis, los sistemas integrados con colectores solares, los sistemas de refrigeración por absorción con diferentes fluidos de trabajo y el uso de un

sistema híbrido de absorción-compresión para la refrigeración (Srikhirin et al., 2001; Abduljalil et al., 2012; González, 2011; Marcos del Cano, 2008; Zúñiga, 2017; Ketfi et al., 2017; Bujedo et al., 2011; Argiriou et al., 2005; Fong et al., 2010; Venegas et. al, 2011; Zhai & Wang, 2010; Fong et al., 2012; Assilzadeh et al., 2005). En ellos, se destaca que los sistemas de refrigeración por absorción, con mayor eficiencia térmica, son los sistemas de híbridos de absorción-compresión para la refrigeración, con valores de COP mayores a 4,5 seguido, por el sistema de absorción de triple efecto, con valores de COP entre el 1,4 y el 1,5 (Srikhirin et al., 2001).

A pesar, de los diferentes diseños de refrigeración por absorción, su comercialización se encuentra limitada, siendo los sistemas de refrigeración por absorción de medio efecto, simple efecto, flujo paralelo, doble efecto y GAX los más comercializados (Amaris Castilla, 2013; Srikhirin et al., 2001). La comercialización de estos sistemas está limitada debido a diferentes barreras como (Rosso y Kafarov, 2015; Dorothee Keppler, 2018): su elevado costo, baja eficiencia comparado con la compresión de vapor, falta de personal capacitado, dificultades en el mantenimiento, interdependencia entre los sectores eléctricos y térmicos, débiles regulaciones políticas que incentiven el uso de dicha tecnología y limitaciones técnicas que se presenten a diferentes condiciones de operación y carga (Rosso y Kafarov, 2015; Keppler, 2018; Bujedo et al., 2011; Argiriou et al., 2005; Venegas et. al, 2011; Zhai & Wang, 2010; Wang et al., 2009).

2.2 Energía solar

La Costa Atlántica, tiene el segundo nivel de irradiación solar promedio más alto del país, con 5 kWh/m² (UPME, 2015). Los centros comerciales en este lugar, son altos consumidores de energía y en ellos, los sistemas de acondicionamiento de aire representan, un consumo de energía significativo (UPME, 2006). Por otra parte, el consumo de energía para el acondicionamiento de aire en este tipo de edificaciones en la Costa Atlántica es alrededor de 8 kWh/m² (UPME, 2006).

2.3 Sistema de refrigeración por absorción con energía solar como fuente de calor.

Para reducir el consumo de energía utilizada para la climatización de 3 centros comerciales, aprovechando los recursos renovables y la producción más limpia, se emplea un sistema de refrigeración por absorción, con una configuración específica (ver Fig.1), la cual, utiliza la energía solar debido a su gran potencial en la región.

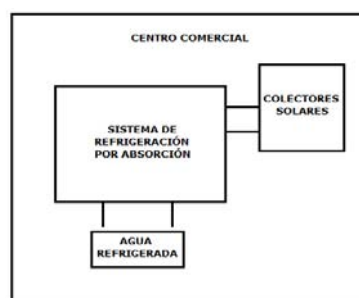


Fig.1. Configuración de la implementación de colectores solares-sistema de refrigeración de agua fría utilizada, para el acondicionamiento de aire.

Para conocer el consumo de electricidad utilizada para la refrigeración en los centros comerciales investigados, para el periodo de estudio comprendido entre el mes de Enero del 2017 hasta el Diciembre del 2017, se implementaron: mediciones de campo considerando, las capacidades instaladas de acondicionamiento de aire, horas de funcionamiento, consumo de energía promedio, toneladas de refrigeración, metros cuadrados (m²) disponibles para la implementación de las tecnologías propuestas, temperatura ambiente (Wunderground, 2017), humedad relativa, áreas comerciales en tres centros comerciales en la ciudad de Barranquilla.

Los instrumentos utilizados en las mediciones fueron: Un analizador de redes eléctricas POA824 el cual, cumple con la medición y registro de los parámetros de red según la Norma EN50160, un voltímetro digital MT4W-DV-41, un termo-higrómetro digital LM-81HT y una cámara termográfica FLIR E4 con una precisión del 2%.

Para la irradiación solar y horas de Brillo solar, se tomaron los registros del Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios ambientales (IDEAM) en Barranquilla y se simplificaron en la fig.2 (IDEAM, 2010) usando, la ecuación 1.

$$G = \frac{\text{Radiación solar}}{\text{horas de brillo solar}} \quad (1)$$

Para calcular el calor retirado por el sistema de refrigeración por absorción, previamente se debe seleccionar, el sistema de refrigeración por absorción según, las toneladas de refrigeración requeridas de los centros comerciales durante el brillo solar. Posteriormente, se debe seleccionar el tipo de colector según la tecnología de absorción a fin, de estimar el área de captación de los colectores solares. El calor retirado por el sistema de refrigeración por absorción se halla la siguiente manera:

$$Q_{e \text{ abs.}} = A_{\text{disponible}} \cdot G \cdot n_c \cdot \text{COP}_{\text{ref.abs.}} \cdot \frac{\text{horas de brillo solar}}{\text{horas de funcionamiento}} \quad (2)$$

Donde:

$Q_{e \text{ abs.}}$ = Calor retirado por el sistema de refrigeración por absorción considerando horas de brillo solar (kW)

n_c = Eficiencia de los captadores solares

G = Irradiación Solar (kW/m²)

$\text{COP}_{\text{ref.abs.}}$ = Coeficiente de operación del sistema de refrigeración por absorción

Horas de funcionamiento = 12 horas en promedio para todos los centros comerciales

Para el número de colectores, se usa la siguiente ecuación:

$$\text{Nº de colectores solares} = A_{\text{disponible}} / A_{\text{colector}} \quad (3)$$

A_{colector} = Área de un colector solar

Para el cálculo del % de las Toneladas de refrigeración suplidas por el sistema de refrigeración por absorción en relación, de las toneladas de refrigeración requeridas, se emplea la ecuación 4:

$$\% \frac{\text{Ref.abs.}}{\text{Ref.comp.}} = \frac{Q_{e \text{ abs.}}}{Q_{e \text{ comp.}}} \quad (4)$$

$Q_{e \text{ comp.}}$ = Calor retirado por el sistema de refrigeración por compresión (TR)

$Q_{e \text{ abs.}}$ = Calor retirado por el sistema de refrigeración por absorción (TR)

Para hallar el consumo de electricidad de la bomba del sistema de refrigeración por absorción, se utiliza la siguiente formula:

$E_{\text{bomba abs.}}$ = Consumo de electricidad bomba por hora · días/mes · (horas de brillo solar) (5)

$E_{\text{bomba abs.}}$ = Electricidad consumida en la bomba del sistema de absorción (MWh)

El ahorro de electricidad producto de la introducción del sistema de refrigeración, se halla de la siguiente manera:

$$\% \text{ Ahorro de electricidad} = \frac{E_{\text{bomba abs.}} - (\% \frac{\text{Ref.abs.}}{\text{Ref.comp.}} \cdot E_{\text{comp.}})}{E_{\text{comp.}}} \quad (6)$$

$E_{\text{comp.}}$ = Energía eléctrica consumida por el sistema de refrigeración por compresión (MWh).

Para el cálculo de los kilogramos de CO₂/mes equivalente que se dejan de producir por la introducción del sistema de refrigeración por absorción, se emplea la ecuación 7.

$$\text{Kg} \frac{\text{CO}_2}{\text{mes}} \text{equivalente} = \% \text{ Ahorro de electricidad} \cdot E_{\text{comp.}} \cdot \text{Factor de emisión} \quad (7)$$

donde: Factor de emisión = $0.153 \frac{\text{kgO}_{2\text{eq}}}{\text{kWh}}$ (International Energy Agency, 2018)

3. Resultados

En la tabla 1, se muestra las características de los centros comerciales. El área comercial es el área que se encuentra climatizada y el área disponible corresponde al área que puede utilizarse para la instalación de los colectores solares a implementar.

Tabla 1. Características de los Centros comerciales analizados.

Centros comerciales	Área comercial para la climatización (m ²)	Área disponible (m ²)
C.C.1	28.390	4.043
C.C.2	21.000	2.391
C.C.3	19.800	1.214

La irradiación solar mensual en Barranquilla con las horas de brillo solar, se relacionan en la Fig.2. En esta, se muestra que el mes en donde la irradiación más alta es Junio, sin embargo las horas de brillo solar en promedio son tan solo 6.

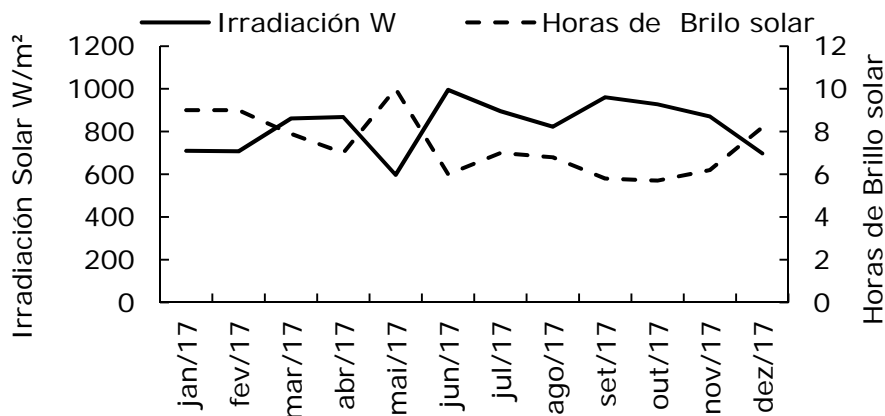


Fig.2. Gráfico de irradiación solar y horas de Brillo Solar en Barranquilla.

En la Fig.3, se muestra las toneladas de refrigeración de cada uno de los centros comerciales y el consumo de electricidad asociado al acondicionamiento del aire. Se observa que a mayores toneladas de refrigeración existe un mayor consumo de energía y viceversa. Los consumos de eléctricos más elevados en todos los centros comerciales corresponden a los meses de Julio y Diciembre los cuales, concuerdan con cantidades de irradiación solar y las horas de brillo solar elevadas.

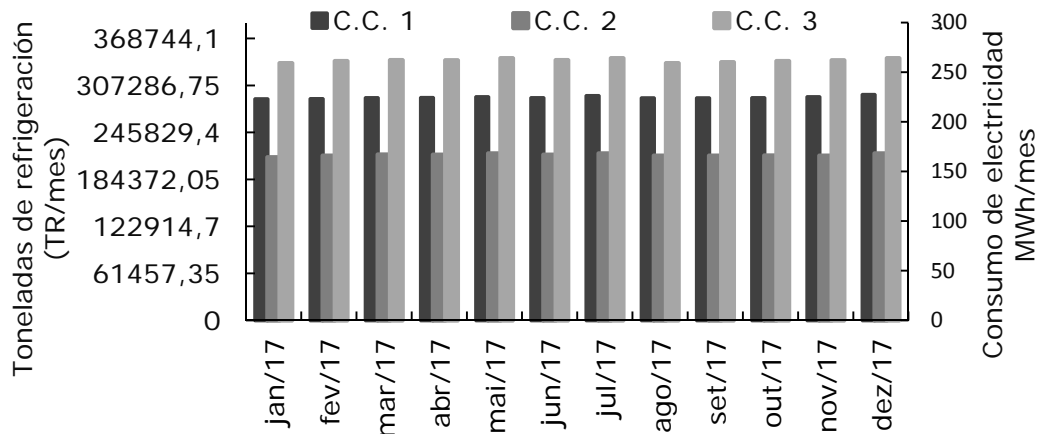


Fig.3. Toneladas de refrigeración y consumos de electricidad mensual.

En la Fig.4, se muestra el % de toneladas de refrigeración que puede suplir el sistema de refrigeración por absorción de simple efecto, con un COP de 0,7 (Srihirin et al., 2001; Amaris Castilla, 2013), escogido por ser uno de los más usados comercialmente para dichas capacidades de refrigeración (Amaris Castilla, 2013).

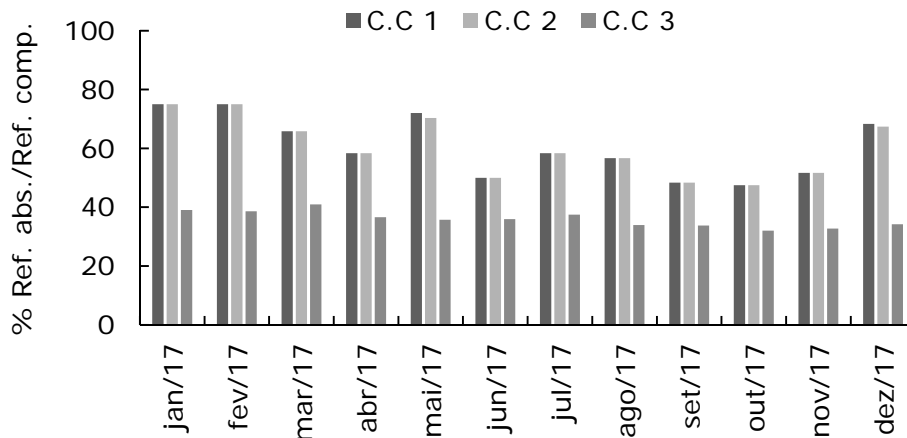


Fig.4. % Refrigeración suplida por el sistema de refrigeración por absorción.

En la Fig.4, muestra que el sistema de refrigeración por absorción en los centros comerciales 1 y 2, cubre un porcentaje de refrigeración entre el 47,5% y el 75% de la refrigeración requerida para cada mes del correspondiente año. Para el centro comercial 3 el sistema refrigeración por absorción alcanza a cubrir entre el 32% y el 41% en el periodo mostrado, debido al área disponible para la captación de la energía solar. Para todos los centros comerciales, el mes de menor producción de frio realizado por el sistema de refrigeración por absorción fue el mes de octubre, debido a la combinación de los efectos de irradiación y horas de brillo solar.

En la Fig.5. se muestra que el ahorro de electricidad producto de la introducción del sistema de refrigeración por absorción en los 3 centros comerciales. Se observa que los centros comerciales 1 y 2, los ahorros se encuentran entre el 46,75% y el 74,25% del consumo de electricidad usado por el sistema de refrigeración por compresión, sin embargo, en el centro comercial 3, el ahorro más alto es de alrededor del 40,29%. Por otro lado, los kilogramos de Kg de CO2 equivalente no producidos por el no uso de la electricidad para los centros comerciales, alcanza un valor entre los 47,12 Toneladas/año y los 28,72 Toneladas/año.

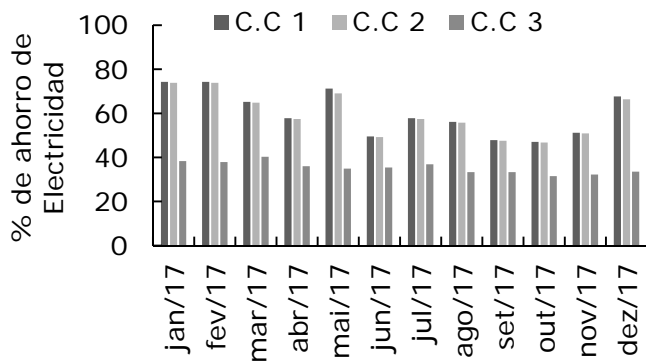


Fig.5. Ahorro de electricidad.

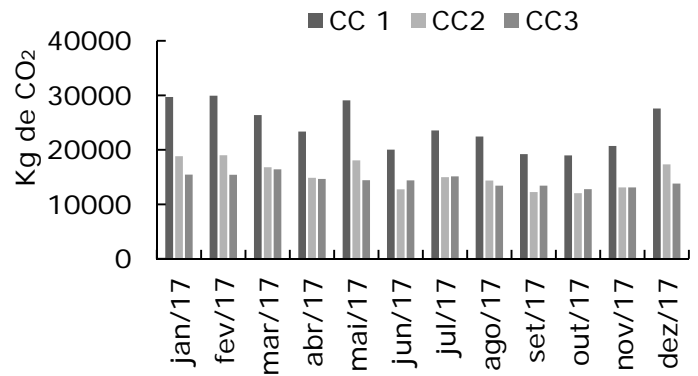


Fig.6. Emisiones de CO_{2,eq} evitadas.

En la tabla 2, se muestra la selección de los colectores solares según, los requerimientos necesarios para el correcto funcionamiento del sistema de refrigeración y las demandas de toneladas de refrigeración de los distintos centros comerciales para un 100 % del área disponible para implementar los colectores. La selección de los colectores solares tipo Fresnel, se estableció según la temperatura del agua de entrada y la capacidad requerida (Programa de Energías Renovables y eficiencia Energética en Chile, 2014; Jiangsu Shuangliang air-conditioning equipment LTD, 2009).

Tabla2. Selección de las tecnologías y especificaciones técnicas.

Centros Comerciales	Sistema de refrigeración por absorción seleccionado			
	N° Colectores solares	Área por Colector (m ²)	N° de sistemas refrigeración por absorción	Tipo
C.C.1	169	24	1	413H2 simple efecto (SHUANGLIAG)
C.C.2	100	24	1	
C.C.3	51	24	1	

3. Conclusiones

Los centros comerciales 1 y 2 son adecuados para aprovechar el potencial de los sistemas de refrigeración por absorción durante la mayor parte del año. El centro comercial 3, posee desventajas por el área disponible, sin embargo, su implementación no deja de ser atractiva debido a los ahorros de electricidad que el sistema de refrigeración por absorción puede proporcionar.

Los sistemas de refrigeración por absorción son tecnologías que brindan soluciones eficaces para el ahorro de electricidad en centros comerciales reduciendo la emisión de los gases de efecto invernadero asociados a la generación de electricidad; sin embargo, para la introducción de estos deben evaluarse su factibilidad técnica-económica por su elevado costo, parámetros ambientales y disponibilidad de espacio. Por otro lado, la irradiación solar y las horas de brillo en la Costa Atlántica, pueden causar ineficacias en la refrigeración de estos sistemas con colectores solares o que el sistema no supla el total de la demanda de frío en las horas de brillo solar o de funcionamiento, sin embargo, una alternativa a los sistemas de refrigeración por absorción con colectores solares, son los sistemas de refrigeración por absorción a llama directa.

Referencias

Granados Hernández, E., López Andrade, X., Bravo Álvarez, H., García Landa, C., Sosa Echeverría, R., & Sánchez Álvarez, P. 2015. Consumo de energía y emisiones de bióxido de carbono del sector. Ingeniería Investigación y Tecnología, 503-513.

- A.A. Argiriou, C.A. Balaras, S. Kontoyiannidis, & E. Michel. 2005. Numerical simulation and performance assessment of a low capacity solar assisted absorption heat pump. *Solar Energy*, 79, 290–301.
- Abduljalil, A., Al, A., Sohif, B., Sopian, K., Sulaiman, M., Lim, C., & Abdulrahman, T. 2012. Review of thermal energy storage for air conditioning systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 5802–5819.
- Amaris Castilla, C. 2013. Intensification of NH₃ Bubble Absorption Process using Advanced Surfaces and Carbon Nanotubes for NH₃/LiNO₃ Absorption Chillers. España.
- Ana María Rosso-Cerón, & Viatcheslav Kafarov. 2015. Barriers to social acceptance of renewable energy. *Chemical Engineering*, 10:103–110.
- Cerezo Román, J. 2006. Tesis: Estudio del proceso de absorción con amoníaco-agua en intercambiadores de placas para equipos de refrigeración por absorción. España.
- Dorothee Keppler. 2018. Absorption chillers as a contribution to a climate-friendly refrigeration. *Journal of Cleaner Production*, 1535-1544.
- E. Cardona, & A. Piacentino. 2003. A methodology for sizing a trigeneration plant. *Applied Thermal Engineering*, 23, 1665–1680.
- F. Assilzadeh, S.A. Kalogirou, Y. Ali, & K. Sopian. 2005. Simulation and optimization of a LiBr solar absorption cooling system with evacuated tube collectors. *RENEWABLE ENERGY*, 30, 1143–1159.
- Figueredo, G. 2012. 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. España.
- González Gil, A. 2011. Novel single-double effect LiBr/H₂O absorption prototype with a highly efficient direct air-cooled adiabatic absorber. España.
- Hagos Gebreslassie, B. 2010. Tesis: Optimization of environmentally friendly solar assisted absorption cooling systems. España.
- IDEAM. 2010. Atlas Climatológico de Colombia. Obtenido de <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html>
- International Energy Agency. 2018. International Energy Agency. Obtenido de www.iea.org/
- J. Deng, R.Z. Wang, & G.Y. Han. 2011. A review of thermally activated cooling technologies for combined cooling. *Progress in Energy and Combustion Science*, 37, 172-203.
- Jiangsu Shuangliang air-conditioning equipment LTD. 2009. climanet. Obtenido de <http://www.climanet.ch/wp-content/uploads/SL-Product-Catalogues-2009-6-5.pdf>
- K.F. Fong, C.K. Lee, & T.T. Chow. 2012. Comparative study of solar cooling systems with building-integrated solar. *Applied Energy*, 189–195.
- K.F. Fong, T.T. Chow, C.K. Lee, Z. Lin, & L.S. Chan. 2010. Comparative study of different solar cooling systems for buildings. *Solar Energy*, 84, 227–244.
- K.J. Chua, S.K. Chou, W.M. Yang, & J. Yan. 2013. Achieving better energy-efficient air conditioning – A review of technologies. *Applied Energy*, 87–104.
- K.W. Wan, K., H.W. Li, D., Liu, D., & C. Lam, J. 2016. Future trends of building heating and cooling loads and energy. *Building and Environment*, 223-234.
- Karagiorgas, M., Tsoutsos, T., & Moia-Pol, A. 2007. A simulation of the energy consumption monitoring in Mediterranean hotels: Application in Greece. *Energy and Buildings*, 416-426.

- Lizarte Mayo, R. 2010. Tesis: Evaluación experimental de máquinas de absorción de simple efecto de Libr-H₂O de pquea potencia condensadas por aire: sistema re-cooling frente a sistema directo. España.
- Luis A. Bujedo, Juan Rodríguez, & Pedro J. Martínez. 2011. Experimental results of different control strategies in a solar. *Solar Energy*, 85, 1302–1315.
- Luis Pérez-Lombard, José Ortiz, & Christine Pout. 2008. A review on buildings energy consumption information. *ENERGY AND BUILDING*, 394-398.
- M. Venegas, M.C. Rodríguez-Hidalgo, R. Salgado, A. Lecuona, a, P. Rodríguez, & G. Gutiérrez. 2011. Experimental diagnosis of the influence of operational variables on the. *Applied Energy*, 1447–1454.
- Marcos del Cano, J. D. 2008. Tesis: Prototipo de máquina frigorífica de abosrción de Libr/H₂O de doble efeccto condensada por aire. España.
- Mardones Barrientos, C. 2016. Comparación entre los ciclos de refrigeración por compresión de vapor y absorcion mdiante la primera y segunda ley de la termodinámica en aplicaciones de climatizacion y refrigeración. Chile.
- Margrethe Aune, ÅsneLund Godbolt, KnuthH. Sørensen, Marianne Ryghaug, enrik Karlstrøm, & Robert Næss. 2016. Concerned consumption. Global warming changing household domestication of energy. *Energy Police*, 290 - 297.
- Ministerio de Minas y Energia de Colombia. 2013. www.minminas.gov.co. Obtenido de www.minminas.gov.co/documents/10180/712360/Anexo+General+del+RETIE+2013.pdf/14fa9857-1697-44ed-a6b2-f6dc570b7f43
- Omar Ketfi, Mustapha Merzouk, Nachida Kasbadji Merzouk, & Mahmoud Bourouis. 2017. Feasibility study and performance evaluation of low capacity water–LiBr absorption cooling. *International journal of refrigeration*, 82, 36–50.
- Omer Kaynakli, & Muhsin Kilic. 2007. Theoretical study on the effect of operating conditions on performance of absorption refrigeration system. *Energy Conversion and Management*, 48, 599–607.
- Pongsid Sriksirin, Satha Aphornratana,, & Supachart Chungpaibulpatana. 2001. A review of absorption refrigeration. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 343–372.
- Programa de Energías Renovables y eficiencia Energética en Chile. 2014. 4echile. Obtenido de <http://www.4echile.cl/4echile/wp-content/uploads/2017/03/La-Tecnologia-Fresnel-CSP-GIZ-2014.pdf>
- R.Z. Wang, T.S. Ge, C.J. Chen, Q. Ma, & Z.Q. Xiong. 2009. Solar sorption cooling systems for residential applications: . *international journal of refrigeration*, 638–660.
- Ramírez Fonseca, A. 2006. Acondicionamiento de aire con un ciclo de refrigeración por absorcion aprovechando los gases de escape de una turbina de gas. México.
- Rekiyat Bgril, S. 2011. Tesis: Modeling and simulation of a solar powered adsorption refrigeration system. Nigeria.
- Salgado Mangual, R. 2008. Tesis: Optimized solar cooling facility configurations for the mediterranean warm climate. España.
- Tatiana Morosuk, & George Tsatsaronis. 2008. A new approach to the exergy analysis. *ENERGY*, 33, 890–907.
- TECNOGLASS S.A. 2016. Por la cual se certifica que es acreditable la inversión objeto de la solicitud de certificación de deducción en impuesto de renta por inversiones en control y

mejoramiento del medio ambiente, presentada por la empresa TECNOGLASS SA. Obtenido de ANLA: http://anla.gov.co/sites/default/files/res_cert_1438_m_29112016_ct_6147_d.pdf

Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), 2010. Proyección de Demanda de Energía en Colombia.

Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), 2006. Obtenido de http://www.upme.gov.co/upme12/2007/upme13/caracterizacion_energetica_sectores.pdf

Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), 2015. Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia. Bogotá.

Vargas Bautista, J. 2009. Integración energética mediante la recuperación de calor de mediana y baja temperatura para generar refrigeración por absorción. México.

Ventas Garzón, D. 2010. Tesis: Estudio de máquinas de absorción con la disolución de nitrato de litio-amoniaco. Ciclos híbridos potenciados con compresión mecánica. España.

Villacis Pérez, A. 2011. Análisis y diseño de un sistema de refrigeración por absorción. Ecuador.

Wunderground. 2018. Obtenido de Wunderground: <https://www.wunderground.com/>

X.Q. Kong, R.Z. Wang, & X.H. Huang. 2005. Energy optimization model for a CCHP system. *Applied Thermal Engineering*, 25, 377–391.

X.Q. Zhai, & R.Z. Wang. 2010. Experimental investigation and performance analysis on a solar adsorption. *Applied Energy*, 824–835.

Zacarias Santiago, A. 2004. Estudio experimental de un sistema de refrigeración por absorción operando a cargas parciales. México.

Zamora García, M. 2012. Optimización industrial y estrategia de control de una enfriadora de absorción de amoniaco/nitrato de Litio con disipación de aire. España.

Zúñiga Puebla, H. 2017. Tesis: Modelación termodinámica y optimización energética de un ciclo de refrigeración por absorción de difusión. México.