

Mejora del rendimiento de equipos de aire acondicionado tipo Split mediante el uso del condensado para enfriamiento evaporativo de la unidad exterior

Performance improvement of Split type air-conditioning equipment by using the condensate for evaporative cooling of the outdoor unit

Alfredo Velázquez Marín

Programa de Doctorado en Tecnologías Industriales y de Telecomunicación.
Universidad Miguel Hernández de Elche

Correspondencia/ Correspondence:
alfredo.velazquez@murciaeduca.es

Recibido/ Received:
29.05.2018

Aceptado/ Accepted:
08.03.2019

Cómo citar este trabajo | How to cite this paper

A. Velázquez Marín, "Mejora del rendimiento de equipos de aire acondicionado tipo Split mediante el uso del condensado para enfriamiento evaporativo de la unidad exterior," Revista Doctorado UMH, vol. 4, no. 2, p5, 2018 [Online].

RESUMEN

El crecimiento sustancial en la industria de refrigeración y aire acondicionado tiene un impacto significativo en el consumo de energía. Existe una necesidad urgente de desarrollar tecnologías rentables y mejorar la eficiencia de los sistemas de enfriamiento. La presión del condensador es uno de los parámetros críticos en la operación eficiente de sistemas de refrigeración y aire acondicionado. El condensador enfriado por evaporación de agua ha sido una de las soluciones en la búsqueda del uso eficiente de millones de sistemas de refrigeración en todo el mundo. Los brotes de *Legionella* sp. han condicionado su uso y ha dado lugar al desarrollo de nuevos equipos. En esta revisión del estado del arte se analizarán diferentes sistemas de condensación, los diseños que los investigadores han presentado dirigidos a su utilización en equipos del sector comercial y residencial y, en último lugar, los estudios publicados sobre el uso del condensado para el enfriamiento.

Palabras clave: eficiencia energética, enfriamiento evaporativo, unidad aire acondicionado Split, condensado.

ABSTRACT

Substantial growth in the refrigeration and air conditioning industry has a significant impact on energy consumption. There is an urgent need to develop profitable technologies and to improve the efficiency of cooling systems. The condenser pressure is one of the critical parameters in the efficient operation of refrigeration and air conditioning systems. The condenser cooled by evaporation of water has been one of the solutions in the search for the efficient use of millions of refrigeration systems throughout the world. The outbreaks of *Legionella* sp. have conditioned its use and have led to the development of new equipment.

In this review of the state-of-the-art, there will be analyzed different condensation systems, the designs that the researchers have presented aimed at their use in equipment of the commercial and residential sector and, lastly, the studies published on the use of condensate for cooling.

Keywords: energy efficiency, evaporative cooling, Split air-conditioning unit, condensate.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la población mundial y su desarrollo económico está llevando a un incremento muy importante en el consumo de energía, de forma que la búsqueda de medidas de ahorro y eficiencia es un tema de gran importancia a nivel global.

En la Unión Europea la reducción del consumo de energía constituye una parte importante de las medidas necesarias para reducir la dependencia energética y las emisiones de gases de efecto invernadero (Directiva 2010/31/UE). El consumo asociado a la climatización alcanza un 50% de la demanda global de energía en Europa.

En España según Asociación de Fabricantes de equipos de climatización [1], el volumen de facturación global del año 2017 en el mercado residencial/doméstico con equipos de hasta 6 kW tipo Split supone más del 40% de su facturación y un total de 766.041 unidades vendidas ese año. Por su parte el IDAE [2] publica que el parque de bombas de calor instaladas en hogar y comercio era de 10.260.163 unidades, en el año 2014. Es tal el impacto que tiene el uso de equipos Split como sistema de refrigeración sobre el consumo de energía y la potencia demandada, que apagones y caídas de tensión en los meses estivales son frecuentemente atribuidos a la gran deman-

da de electricidad que conlleva el uso de estos equipos.

Con los datos anteriores, se pone de manifiesto que intentar mejorar la eficiencia y por tanto reducir la demanda de potencia y el consumo energético, aunque sea en un pequeño porcentaje, puede tener un gran impacto si esas medidas son de aplicación no sólo en los nuevos equipos sino también en los existentes.

CONDENSADORES

La temperatura de condensación tiene una gran influencia en el rendimiento del ciclo frigorífico, ya que la disminución de ésta, reduce la relación de compresión en el compresor y por tanto una reducción del consumo de energía [2], [3].

También produce un aumento del COP por tener mayor cantidad de líquido refrigerante disponible en el evaporador y aumentar la capacidad de enfriamiento. Está cifrada una disminución del COP entre 2-4% por cada grado de incremento en la temperatura de condensación [4].

La presión de condensación en una instalación frigorífica vendrá determinada por el agente externo de enfriamiento que podrá ser agua, aire o ambos simultáneamente (torres de enfriamiento y condensadores evaporativos). Luego la adopción de un tipo de condensación u otro incidirá directamente en los costos de operación.

A continuación, se describen los distintos tipos de sistemas de condensación empleados, indicando para cada uno de ellos, cuales son las temperaturas de condensación.

Condensador multitubular con torre de enfriamiento

Consta de una envolvente cilíndrica, en cuyo interior van montados tubos paralelos longitudinales, fijados en ambos extremos a unas placas

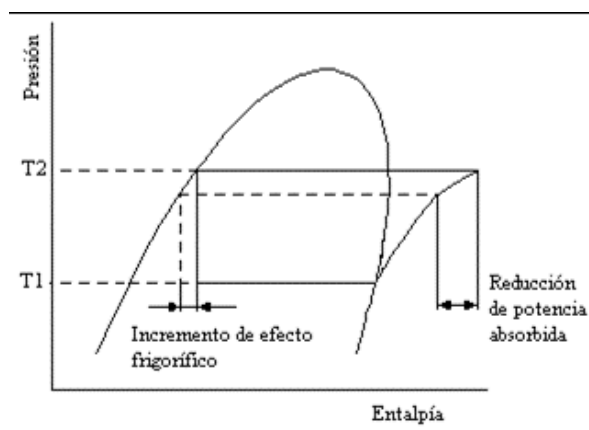


Figura 1. Efecto de la disminución de la temperatura de condensación.

tubulares.

Por los tubos circula el agua, que encuentra en las tapas de los extremos unos tabiques divisorios que la obligan a efectuar un cierto número de pasos longitudinales.

El fluido frigorígeno circula por el interior de la envolvente, bañando la superficie exterior de los tubos.

Condensador

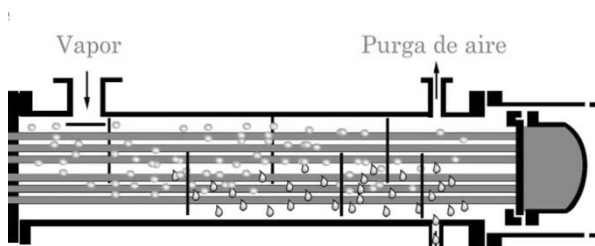


Figura 2. Condensador multitubular.

En la torre de enfriamiento el calor extraído del condensador multitubular se disipa por una evaporación parcial de agua.

En la siguiente figura se observa su estructura y principio de funcionamiento:

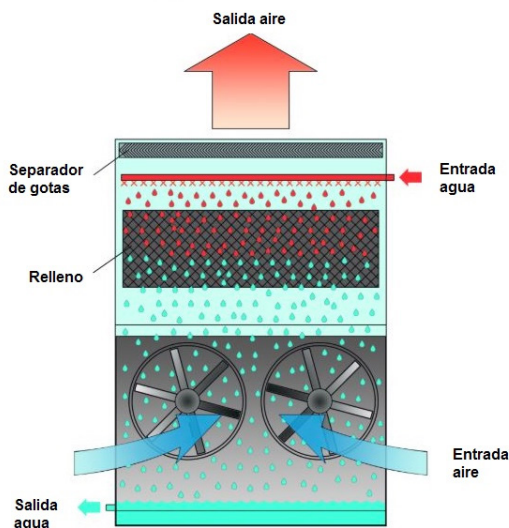


Figura 3. Torre de enfriamiento de agua (Fuente: www.evapco.com).

De forma aproximada y con el fin de comparar con otro tipo de condensadores, Antonio López [6] calcula la temperatura de condensación como:

$$T_c = (t_{bh} + 7 \text{ }^\circ\text{C}) + dt + (dt)c$$

donde:

t_{bh} = Temperatura de bulbo húmedo más desfavorable de la zona (se toman 22 °C para zonas interiores y 25 °C para zonas costeras).

dt = salto térmico entre la temperatura de salida del agua del condensador y T_c .

$(dt)c$ = incremento de temperatura del agua en el condensador ($\cong 8 \text{ }^\circ\text{C}$.)

(Nota: los 7 °C de la fórmula es un valor medio aproximado)

Condensador evaporativo

El conjunto condensador multitubular, torre de enfriamiento y circuito de bombeo puede sustituirse ventajosamente por un condensador evaporativo que comprende, bajo una misma envolvente, el condensador de serpentines, la ventilación y la distribución de agua [5].

En este caso la temperatura de condensación es:

$$T_c = t_{bh} + 12 \text{ }^\circ\text{C} \text{ [6].}$$

(Nota: los 12 °C de la fórmula es un valor medio aproximado)

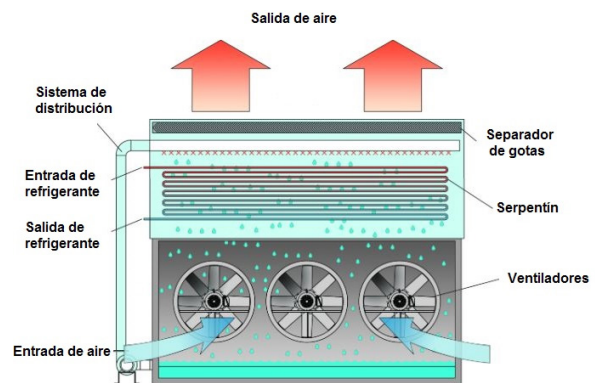


Figura 4. Condensador evaporativo (Fuente www.evapco.com).

Condensador refrigerado por aire

En estos sistemas el refrigerante enfriado por aire, cuyo comportamiento no está influido por su humedad relativa, sino únicamente por su temperatura seca, que, naturalmente, será más elevada. En estos equipos, se puede establecer aproximadamente una temperatura de condensación de 15 °C por encima de la temperatura del aire más desfavorable [6].

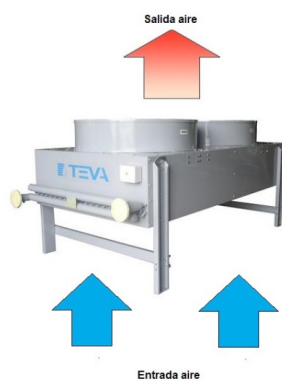


Figura 5. Condensador enfriado por aire
(Fuente www.teva.es).

Utilizando las expresiones de cálculo de T_c para cada uno de los condensadores expuestos, vemos que los condensadores evaporativos permiten condensar el fluido frigorígeno a una temperatura más baja que los otros sistemas de condensación.

Para López Gómez en un área continental con temperatura ambiente en verano de 35 °C, con un t_{bh} de 22 °C y según el sistema de condensación en uso obtendríamos para un condensador evaporativo $T_c = 34$ °C, condensador multitubular horizontal, con torre de enfriamiento $T_c = 42$ °C y con un condensador refrigerado por aire $T_c = 50$ °C.

Por este motivo en las grandes instalaciones de refrigeración, así como en la producción de frío industrial, está extendido el uso de torres de refrigeración, condensadores evaporativos y condensadores adiabáticos, ya que permiten a los equi-

pos trabajar con temperaturas de condensación menores.

Tanto las torres de enfriamiento como los condensadores evaporativos son dispositivos semiabiertos, diseñados para enfriar el agua mediante su evaporación en contacto con el aire ambiente.

El contacto aire-agua depende del sistema de relleno que se utilice, y se realiza a través de una fina pulverización de gotas de agua en el aire, o bien a partir de una delgada película muy extendida de agua, o una mezcla de las dos. Se pretende que el contacto agua-aire sea lo más íntimo posible y en consecuencia se optimice el proceso de transferencia de calor y evaporación entre las dos fases. La evaporación se produce porque las pequeñas gotas de la superficie del agua son arrastradas por el aire y pasan del estado líquido al vapor. La masa de agua circundante desprende el calor necesario para que unas pocas gotas se evaporen. Al ceder este calor, la masa de agua no evaporada se enfría, mientras las gotas usan el calor cedido para cambiar de fase. Por otra parte, el aire circulante se calienta por conducción.

En resumen, una pequeña porción de agua se evapora para enfriar el resto y el aire sirve de vehículo al agua que se evapora para salir del sistema.

En este proceso se forman aerosoles que son partículas de agua de un tamaño comprendido entre 1 y 10 micras. Para minimizar su emisión a la atmósfera, las torres de refrigeración y condensadores evaporativos han de tener en su parte superior dispositivos separadores de gotas de alta eficacia, los cuales incorporan unas pestañas que agrupan el aerosol en pequeñas gotas haciéndolas caer de nuevo.

Cuando el agua se evapora, se mantienen las impurezas inicialmente presentes en el agua. A menos que se extraiga una cantidad pequeña de agua del sistema (purga), la concentración de sólidos disueltos aumentará rápidamente y conducirá a la formación de incrustaciones, corrosión, o

ambas. También, el agua necesita ser repuesta ya que se está perdiendo del sistema con la evaporación y la purga.

Además de las impurezas presentes en el agua de aporte, cualquier impureza o partícula biológica del aire es transportada al interior de la torre e introducida al agua circulante.

Una excesiva incrustación en la superficie del intercambiador dentro de una torre de refrigeración o condensador evaporativo reduce considerablemente la eficacia en la transmisión de calor. Esto puede dar lugar a temperaturas de enfriamiento más altas que las de diseño. Mientras que la incrustación en sí misma no se considera como alimento para el crecimiento bacteriológico, una elevada incrustación proporciona un refugio para microorganismos y puede por lo tanto aumentar el riesgo de contaminación bacteriológica [7].

La *Legionella* spp. es una bacteria que está asociada al 90% de casos de legionelosis. La legionelosis es una neumonía grave. Si el paciente es tratado con los antibióticos apropiados la recuperación es buena, especialmente en pacientes no inmunodeprimidos. Para pacientes cuyo sistema inmunitario está debilitado, la recuperación hospitalaria es más larga, con posibles complicaciones e incluso resultado de muerte. [8]

La *Legionella* spp. está presente en el medio hídrico natural, ríos, lagos, charcas, tierra fangosa, etc., en cantidades variables según las condiciones ambientales.

Desde el medio natural coloniza sistemas de agua industrial o sanitaria, donde encuentra las

condiciones de temperatura, estancamiento y nutrientes necesarias para su amplificación, como son las torres de enfriamiento y condensadores evaporativos. La *Legionella* spp. penetra en el organismo mediante la inhalación de microgotas de agua de tamaño inferior a 5 μm que contienen la bacteria.

Este tamaño de gotas corresponde a lo que se denomina aerosol y tiene en el aire un comportamiento no gravitatorio, por el cual, no tiene tendencia a depositarse rápidamente, pudiendo permanecer en el aire durante largo tiempo en función de las corrientes y las condiciones de humedad ambiental.

Se ha comprobado una relación directa entre ciertos brotes epidémicos de legionelosis y el uso de condensadores evaporativos por lo que las administraciones central (RD 865/2003), autonómicas y locales obligan a que las torres de refrigeración y condensadores evaporativos deben estar censados, dispongan de programa de mantenimiento, limpieza y desinfección, y pasen revisiones periódicas. En algunas zonas incluso se ha prohibido su instalación.

Esta problemática descrita conlleva unos gastos asociados al uso de la refrigeración que, si bien compensa en el caso de grandes instalaciones, en otras de menor tamaño impide la utilización de la condensación evaporativa.

Es por esto por lo que en los últimos años ha tenido un gran auge el uso de los llamados condensadores "adiabáticos", que son condensadores por aire industriales con baterías en forma de

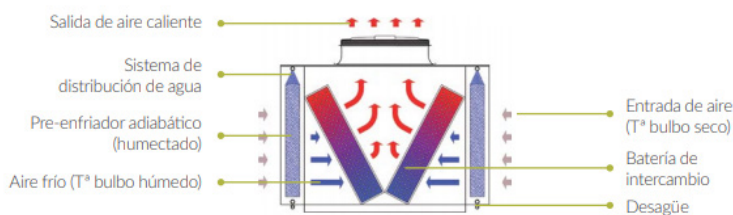


Figura 6. Condensador adiabático (Fuente EOS Refrigeration).

V y con paneles de humectación instalados en las entradas de aire de las baterías de intercambio térmico.

El condensador funciona como un condensador de aire tradicional hasta que la presión de condensación supera una presión de consigna. En este momento, a través de una válvula solenoide se humectan unos paneles. El aire que pasa a través de estos absorbe la humedad y se acerca al punto de saturación. Este proceso lleva asociado un enfriamiento del aire que aproxima la temperatura de entrada del aire en las baterías de intercambio del condensador a la temperatura del bulbo húmedo del lugar donde el condensador esté instalado.

Este tipo de condensadores, al no producir aerosoles y no tener balsa de agua (no necesitan bomba de recirculación de agua), no están afectados por la legislación de legionelosis (RD 865/2003).

EQUIPOS SPLIT

En la refrigeración comercial y residencial, prácticamente la totalidad de los equipos condensan por aire debido al menor coste de los equipos, menores gastos de mantenimiento y no necesitar una instalación de agua.

Pero partiendo de las premisas iniciales donde vemos la necesidad de seguir investigando para reducir el consumo energético, hay numerosos estudios y artículos que muestran una mejora del rendimiento de los equipos de condensación por aire actuando sobre la temperatura de condensación [9].

Islam y otros [10] estudiaron experimental y numéricamente el rendimiento de un sistema de aire acondicionado comercial con el serpentín del condensador refrigerado por evaporación. Los resultados mostraron que el COP de la unidad de

condicionamiento de aire refrigerado por evaporación aumenta en aproximadamente un 28% en comparación con la unidad convencional de aire acondicionado refrigerado por aire.

Wang y otros [11] investigaron experimentalmente el aumento de COP de un sistema de aire acondicionado que utiliza un condensador de enfriamiento por evaporación. Una unidad de enfriamiento por evaporación se ubicó aguas arriba del condensador. Los resultados indicaron una relación inversa entre la temperatura del bulbo seco de entrada del condensador y el COP. Usando el condensador de enfriamiento evaporativo para preenfriar el aire, la caída en la temperatura de saturación a través del condensador aumentó de 2,4 a 6,6 °C. Además, los resultados mostraron un aumento en la tasa de flujo de masa de refrigerante que ingresó al evaporador. Este aumento masivo de líquido que ingresa al evaporador resultó en el aumento de COP de 6,1% a 18%. También se logró una reducción de potencia de hasta 14,3% en el compresor.

Hajidavalloo y Eghtedari [12] estudiaron experimentalmente el efecto del uso de un condensador de aire refrigerado por evaporación en el rendimiento de un acondicionador tipo Split refrigerado por aire. Se examinaron las condiciones variables del aire ambiente para determinar el efecto de cambiar el sistema a uno refrigerado por evaporación en el COP y el consumo de energía. Los resultados experimentales mostraron que, al usar un condensador de aire refrigerado por evaporación en condiciones de clima cálido, el COP podría mejorarse hasta en un 50% y la velocidad de mejora aumenta a medida que aumenta la temperatura del aire ambiente. Además, encontraron que el consumo de energía podría reducirse hasta un 20%.

P. Martínez y otros [13] realizan un estudio experimental para evaluar el espesor del relleno que optimice el COP en un montaje similar a la figura

anterior. No obstante, estos métodos no han conseguido extender su aplicación a equipos usados en el sector residencial/comercial, debido al coste propio del sistema, a la necesaria instalación de un sistema de aporte de agua en todos los casos y a los problemas derivados de incrustaciones o corrosiones en el caso de pulverizar directamente sobre el condensador.

De todos es conocido que, en los sistemas de acondicionamiento del aire, la superficie del evaporador condensa agua debido a que la temperatura del evaporador está por debajo del punto de rocío del espacio acondicionado. Este hecho en la mayor parte de las ocasiones supone un problema ya que puede producir goteras en edificios o superficies húmedas, origen de elementos patógenos. En el mejor de los casos se puede utilizar para riego.

Ahora bien, si utilizamos este condensado como agua de aporte en sistemas como los anteriormente descritos podemos evitar dos de los inconvenientes anteriormente descritos como son la instalación de aporte de agua y las incrustaciones debidas a las sales, ya que el agua condensada carece de sales.

El número de estudios y trabajos sobre el uso del condensado es bastante limitado. Uno ellos es de A. P. Sawant [14] donde se obtienen hasta un 13 % de ahorro y un 18 % de mejora del COP sobre un aparato de aire acondicionado de tipo ventana.

Por otro lado, R. Sawan [15], utilizando condensado, obtiene en un aparato tipo Split ahorros de entre un 4,5 % y un 5,3% dependiendo del mes. En este trabajo, la mejora en el COP y la reducción en el consumo de energía para una unidad de aire acondicionado dividida se evalúan cuando se utiliza un sistema de enfriamiento por evaporación por aspersión de agua directa. El estudio se enfoca en minimizar la cantidad de agua necesaria para enfriar el condensador utilizando el agua del

drenaje de condensado, sincronizando la inyección de agua con el funcionamiento del compresor ON-OFF y determinando los períodos horarios óptimos para que el sistema de inyección logre una reducción en consumo de energía. Los resultados de la simulación demuestran que el agua de drenaje en octubre da como resultado un ahorro de energía del 5,3% durante todo el día. Por otro lado, el rocío sincronizado de agua dura seis horas en un día de junio y ocho en agosto; esto da como resultado una reducción diaria total en la energía consumida del 5% en junio y del 4,5% en agosto.

Otro tipo de dispositivos han sido ideados para utilizar el condensado como Nasiru I. Ibrahim [16]. La investigación experimental llevada a cabo mejora el rendimiento de un sistema de compresión de vapor, preenfriando el aire que ingresa al condensador usando condensado. Se incorpora un preenfriador en una unidad de aire acondicionado y los resultados muestran que el enfriamiento previo del aire es de aproximadamente 4 °C. La disminución en la presión de descarga dio como resultado la disminución en el consumo del compresor de un 6,1% y un incremento del efecto frigorífico dando como resultado un aumento en el COP de un 20%.

Analizando los estudios publicados sobre el uso de condensado podemos concluir que, si bien todos ponen de manifiesto un potencial de ahorro, hay gran disparidad en cuanto a los resultados obtenidos, lo que evidencia la necesidad de seguir investigando y sobre todo en el objetivo de conseguir un sistema de aprovechamiento del condensado sencillo que sea implementable tanto en nuevos equipos como en los ya instalados.

CONCLUSIONES

En esta revisión del estado de la cuestión, se han analizado las ventajas del uso del agua para

mejorar la eficiencia de los sistemas de condensación, así como los inconvenientes asociados a su uso.

A pesar de las investigaciones realizadas y los distintos sistemas descritos, en la actualidad no se comercializa ningún sistema de condensación evaporativo en equipos Split y tampoco son fáciles de aplicar en equipos existentes.

Según los estudios existentes sobre utilización de condensado, existe un potencial ahorro de energía. Dado el elevadísimo número de equipos existentes puede tener un gran impacto global.

El desarrollo de un sistema capaz de proporcionar un sistema de enfriamiento del aire de condensación simple, fácil de instalar en equipos existentes, que utilizara exclusivamente el condensado que proporciona el propio equipo de climatización, para evitar la instalación de un sistema de suministro de agua y las incrustaciones, puede ser una solución muy interesante en la búsqueda de la mejora de la eficiencia energética de millones de aparatos tipo Split instalados y futuros, a la vez de ser una solución a la evacuación del condensado.

REFERENCIAS

- [1] E. Sarachu, "Informe de mercado de la climatización 2017," *caloryfrio.com*. [Online]. Available: <https://www.caloryfrio.com/noticias/información-mercado-informe-mercado-climatización-2017-crecimiento-segmento-residencial.html>. [Accessed: May 2, 2018].
- [2] J.P. García, C. Mínguez, F. Monedero, and I. Rico, "Parque de bombas de calor de España," *ida.es*, 2015. [Online]. Available: https://www.ida.es/uploads/documentos/documentos_Bombas-de-calor_FINAL_04ee7f42.pdf. [Accessed: May 2, 2018].
- [3] E. T. Alcaraz, "La producción de frío," *gdocu.upv.es*, 2013. [Online]. Available: https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/c350aa33-95aa-40ad-8084-dc-7b7210b65a/TOC_0021_07_02.pdf?guest=true. [Accessed: May 2, 2018].
- [4] Y. A. Cengel and M. A. Boles, *Thermodynamics: an Engineering Approach*. New York: McGrawHill Education, 2015.
- [5] A. Madrid, *Guía del Almacenamiento Frigorífico*. Madrid: Instituto Internacional del Frío, 1995.
- [6] A. López, *Review of Energy Efficient Technologies in the Refrigeration Systems of the Agrofood Industry*. Brussels: Thermie Programme action, 1995.
- [7] ASHRAE, *2013 ASHRAE Handbook: Fundamentals*. Atlanta: ASHRAE, 2013.
- [8] G. Prats and A. Domínguez, "Legionela. El microorganismo," *Medicina Clínica*, vol. 119, pp. 9-13, September 2012.
- [9] K. Harby, D. R. Gebaly, N. S. Koura, and M. S. Hassan, "Performance improvement of vapor compression cooling systems using evaporative condenser: An overview," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 58, pp. 347-360, January 2016.
- [10] M. R. Islam, K. A. Jahangeer, and K. J. Chua, "Experimental and numerical study of an evaporatively-cooled condenser of air-conditioning systems," *Energy*, vol. 87, pp. 390-399, July 2015.
- [11] T. Wang, C. Sheng, and A. G. A. Nnanna, "Experimental investigation of air conditioning system using evaporative cooling condenser," *Energy Build.*, vol. 81, pp. 435-443, October 2014.
- [12] E. Hajidavalloo and H. Eghtedari, "Performance improvement of air-cooled refrigeration system by using evaporatively cooled air condenser," *Int. J. Refrig.*, vol. 33, pp. 982-998, February 2010.
- [13] P. Martínez, J. Ruiz, C. G. Cutillas, P. J. Martínez, A. S. Kaiser, and M. Lucas, "Experimental study on energy performance of a split air-conditioner by using variable thickness evaporative cooling pads

- coupled to the condenser," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 105, pp. 1041-1050, January 2016.
- [14] A. P. Sawant, N. Agrawal, and P. Nanda, "Performance assessment of an evaporative cooling-assisted window air conditioner," *Int. J. Low-Carbon Technol.*, vol. 7, pp.128-136, November 2011.
- [15] R. Sawan, K. Ghali, and M. Al-Hindi, "Use of condensate drain to pre-cool the inlet air to the condensers: A technique to improve the performance of split air-conditioning units," *HVAC R Res.*, vol. 18, pp.417-431, June 2012.
- [16] N. I. Ibrahim, A. A. Al-Farayedhi, and P. Gandhidasan, "Experimental investigation of a vapor compression system with condenser air pre-cooling by condensate," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 110, pp.1265-1263, January 2017.