



Comparación del comportamiento de refrigerantes secundarios a base de cloruro de calcio, propilenglicol y propolenglicol con nanopartículas de alofán a diferentes concentraciones en el equipo Chiller

Comparison of the behavior of secondary refrigerants based on calcium chloride, propylene glycol and propole glycol with allophane nanoparticles at different concentrations in the Chiller equipment

Comparaçãõ do comportamento de refrigerantes secundários à base de cloreto de cálcio, propileno glicol e propole glicol com nanopartículas de alofano em diferentes concentrações no equipamento Chiller

Lidia del Rocío Castro-Cepeda ^I
lidia.castro@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-0471-2879>

Beatriz Estefanía Pérez-Peñañiel ^{IV}
estefania.perezp@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-9470-6885>

Diego Fernando Mayorga-Pérez ^{II}
dmayorga@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-2727-942X>

Carolina Estefanía Morales-Avilés ^V
karolestefy22@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-4791-4470>

Natalia Patricia Layedra-Larrea ^{III}
nlayedra@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-1017-1746>

Correspondencia: lidia.castro@esPOCH.edu.ec

Ciencias técnicas y aplicadas
Artículo de investigación

***Recibido:** 31 de enero de 2020 ***Aceptado:** 29 febrero de 2020 *** Publicado:** 25 de marzo de 2020

- I. Máster Universitario en Ingeniería de la Energía, Ingeniera Industrial, Docente de Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- II. Magíster en Seguridad y Prevención de Riesgos del Trabajo, Ingeniero Mecánico, Docente de Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- III. Magíster en Informática Educativa, Docente de Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- IV. Ingeniera Mecánica, Investigador Independiente, Riobamba, Ecuador.
- V. Ingeniera Mecánica, Investigador Independiente, Riobamba, Ecuador.

Resumen

Esta investigación se presenta como una alternativa para mejorar el desempeño de los sistemas de refrigeración con la incorporación del uso de refrigerantes secundarios y la adición de nanofluidos, y tiene como objetivo efectuar pruebas experimentales utilizando propilenglicol a distintas concentraciones y luego adicionar nanopartículas de alofán con la finalidad de determinar su capacidad calorífica. La ejecución del trabajo inicio con las pruebas con este refrigerante secundario y además de la sintetización de nanopartículas de alofán las cuales se mantuvieron suspendidas en agua para su posterior análisis y caracterización mediante espectroscopia de infrarrojo y microscopia electrónica de barrido. Las concentraciones con las que se trabajó son de 15% y 21% en volumen de propilenglicol y las dos al 0,5% concentración de nanopartículas de alofán para un volumen de solución de 180 litros. Las pruebas experimentales se realizaron en el equipo técnico “chiller” que permitió que la solución pueda enfriarse desde la temperatura ambiente hasta una temperatura cercana a los -8°C , estos datos se pudieron obtener mediante una interfaz de usuario del software LabView. Los datos obtenidos nos sirvieron para graficar las curvas de enfriamiento, luego se hizo un análisis comparativo con las curvas de enfriamiento elaboradas bajo las mismas condiciones en proyectos anteriores y con ello determinar cuál de ellas es la más eficiente y que características se podrían modificar para mejorar la eficiencia de todo el sistema.

Palabras claves: Nano-partículas de alofán, refrigerante, energía, propilenglicol, conductividad térmica.

Abstract

This research is presented as an alternative to improve the performance of refrigeration systems with the incorporation of the use of secondary refrigerants and the addition of nanofluids, and aims to conduct experimental tests using propylene glycol at different concentrations and then add allophane nanoparticles with the purpose of determining its heat capacity. The execution of the work began with the tests with this secondary refrigerant and in addition to the synthesis of allophane nanoparticles that were suspended in water for later analysis and characterization by infrared spectroscopy and scanning electron microscopy. The concentrations with which they worked are 15% and 21% by volume of propylene glycol and both at 0.5% concentration of allophane nanoparticles for a solution volume of 180 liters. Experimental tests were carried out

on the “chiller” technical equipment that allowed the solution to be cooled from room temperature to a temperature close to -8°C . This data could be obtained through a user interface of the LabVIEW software. The data obtained helped to graph the cooling curves, then a comparative analysis was made with the cooling curves prepared under the same conditions in previous projects and thereby determine which of them is the most efficient and what characteristics could be modified to improve The efficiency of the system.

Keywords: allophane nanoparticles, refrigerant, energy, propylene glycol, thermal conductivity.

Resumo

Esta pesquisa é apresentada como uma alternativa para melhorar o desempenho de sistemas de refrigeração com a incorporação do uso de refrigerantes secundários e a adição de nanofluidos, e tem como objetivo realizar testes experimentais usando propilenglicol em diferentes concentrações e adicionar nanopartículas de alofano com o finalidade de determinar sua capacidade térmica. A execução do trabalho começou com os testes com este refrigerante secundário e, além da síntese de nanopartículas de alofano, que foram suspensas em água para posterior análise e caracterização por espectroscopia no infravermelho e microscopia eletrônica de varredura. As concentrações com as quais trabalharam são 15% e 21% em volume de propilenglicol e as duas na concentração de 0,5% de nanopartículas de alofano para um volume de solução de 180 litros. Testes experimentais foram realizados no equipamento técnico do “chiller” que permitia que a solução fosse resfriada da temperatura ambiente para uma temperatura próxima a -8°C ; esses dados podiam ser obtidos através de uma interface do usuário do software LabView. Os dados obtidos nos ajudaram a representar graficamente as curvas de resfriamento e, em seguida, uma análise comparativa foi feita com as curvas de resfriamento preparadas nas mesmas condições em projetos anteriores e com isso, para determinar qual delas é a mais eficiente e quais características podem ser modificadas para melhorar A eficiência de todo o sistema.

Palavras chave: nanopartículas de alofano, refrigerante, energia, propileno glicol, condutividade térmica.

Introducción

El proceso de refrigeración es empleado en diversas industrias, ya sea con la finalidad de conservación, acondicionamiento de aire o cualquier tipo de proceso donde se requiera el enfriamiento de un medio. Existe una diversidad de equipos cuya función es realizar el intercambio de calor para la refrigeración, entre los cuales tenemos: torres de enfriamiento, torres de evaporación, equipos chiller, refrigeradores, etc. Estos equipos se ajustan a distintos usos y aplicaciones.

El equipo de refrigeración chiller funciona como un sistema indirecto en donde el refrigerante primario no se encuentra en contacto con el medio enfriado, que pasa por el evaporador donde existe el intercambio de calor como el condensador, por lo cual se tiene una disminución de carga del refrigerante primario y fugas.

Los sistemas de chiller en general tiene un proceso de compresión, condensado, expansión y de evaporación para tratar la temperatura del agua o líquido que se quiera enfriar. Debido a que los sistemas de refrigeración chillers tienen una gran demanda se opta por analizarlo con el fin de optimizarlo, una alternativa de mejoramiento es la incorporación de fluidos como el propilenglicol, metanol y etilenglicol con características anticongelantes adecuadas para las distintas aplicaciones.

Según estudios realizados para determinar la capacidad calorífica de nanofluidos de monóxido de cobre, dióxido de titanio, dióxido de silicio, alúmina y cobre al ser suspendidos en fluidos base tales como: agua desionizada, propilenglicol y etilenglicol; demuestran que existe un incremento en sus propiedades termodinámicas en comparación con las del fluido base y varían de acuerdo al porcentaje de concentración.

En esta investigación se plantea una revisión del comportamiento de las curvas de enfriamiento y capacidad calorífica del propilenglicol mediante la adición de nanopartículas de alofan, como el comportamiento de refrigerantes secundarios a base de cloruro de calcio y propilenglicol, así como la capacidad calorífica del propilenglicol mediante la adición de nanopartículas de alofan con la ayuda de Matlab.

Chiller

Un equipo “Chiller” es una planta de enfriamiento, formado por un compresor, condensador, evaporador, válvula de expansión, refrigerante y sistema de tuberías, posee además una bomba de agua y en muchos de los casos cuenta con diferentes sensores acoplados a un sistema de control

electrónico que permite acceder a los datos o manipulación del equipo, finalmente tiene un depósito de agua y demás accesorios que complementan el sistema.

Esta máquina permite mantener la temperatura del proceso de manera constante a lo largo del tiempo, lo que lo convierte en una máquina versátil para distintas aplicaciones a nivel industrial.

Refrigerantes Secundarios

Son aquellos refrigerantes que se utilizan para sistemas de refrigeración indirectos, por sus propiedades menos nocivas para el medio ambiente y además su uso es sencillo en comparación de los refrigerantes primarios.

Propilenglicol

Es un tipo de glicol propilénico, se caracteriza por ser viscoso además de biodegradable, con un nivel de toxicidad relativamente bajo ya sea por inhalación o ingestión, es por eso que es uno de los más utilizados en aplicaciones alimentarias, en concentraciones hasta de 50% en peso puede congelar productos a $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$, su comportamiento se parece al del etilenglicol.

Cloruro de Calcio

Es un compuesto químico inorgánico, es una solución incolora que para esta investigación se utilizó para adicionar al propilenglicol con el objetivo de mejorar las propiedades de refrigeración del equipo Chiller.

Nano-partículas de alofán

Son nanopartículas de Si y Al, que para esta investigación fueron sintetizadas por el método de co-precipitación, que consiste en agregar simultáneamente soluciones de hidróxido de sodio ($\text{Na}(\text{OH})$) y nitrato de aluminio nona-hidratado ($\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) en una solución de silicato de sodio ($[\text{Na}]_2\text{SiO}_3$), manteniendo una velocidad de agitación constante y un pH aproximado de 5, dicha síntesis fue realizada en el laboratorio de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

La concentración de nanopartículas recomendada en nano refrigerante está en un rango de 0,05-5% en volumen, esto según bibliografía especializada, además en experimentos previo se demostró que la adición de pequeñas cantidades de nanopartículas menor al 1% en volumen aumenta el calor específico del mismo, esta es la razón por la que se decidió realizar las pruebas con una concentración de 0,5% en volumen de nanopartículas de alofán, para obtener las curvas de enfriamiento.

Metodología

La metodología que se ha usado para este trabajo de investigación es la experimental cuyas características nos permiten ir modificando las variables de estudio con el fin encontrar solución a los problemas de refrigeración industrial y comercial y además mejorar la eficiencia de estos procesos.

1. Determinar el estado del equipo.
2. Pruebas del sistema de recolección de datos.
3. Condiciones del entorno.
4. Pruebas con diferentes concentraciones de propilenglicol, de cloruro de calcio y con nanopartículas de alofán.
5. Recolección de datos.
6. Análisis de las curvas obtenidas.
7. Comparación.

Determinar el estado del equipo.

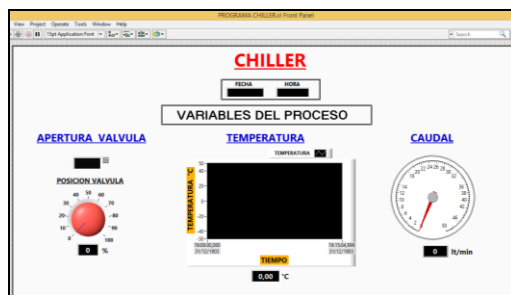
Se realizó primero una inspección visual de los componentes del equipo chiller, luego una limpieza de cada uno de sus elementos con el fin de garantizar el éxito de las pruebas.

Esta inspección visual y limpieza se la realizó periódicamente entre cada ensayo para evitar datos sesgados por algún error de experimentación.

Pruebas sistema de recolección de datos

Este equipo chiller cuenta con un sistema de adquisición de datos en el software LabView, por lo que se recomienda que antes de empezar los ensayos se comprueba la funcionalidad de cada sensor, como se muestra en la figura 1 y en la figura 2.

Figura 1: Interfaz usuario-equipo chiller



Fuente: Autores

Figura 2: Pruebas funcionamiento sensores



Fuente: Autores

Este sistema cuenta con un sensor de temperatura, un caudalímetro y un cronómetro que permitirá tomar las mediciones necesarias para la posterior comparación.

Al finalizar esta prueba es necesario resetear el equipo para tomar nuevas mediciones, para garantizar que las pruebas proporcionen datos correctos, para su análisis.

Condiciones del entorno.

Se verifica que el espacio de trabajo donde se van a realizar las pruebas cuente con todas las condiciones para que la experimentación sea la adecuada.

Para ello se realiza una inspección visual, y se localiza tomas de corriente extras en caso de falla de la que se está usando. Se comprueba que se tiene la cantidad suficiente de agua para enfriar y que existan desagües cercanos en caso de necesitar evacuar la acumulación de líquidos, se busca un lugar adecuado para conectar el computador evitando que se dañe por salpicadura de las soluciones y líquidos empleados.

Pruebas con diferentes concentraciones

- Propilenglicol con concentraciones al 15%, 21% y 30% y todas con apertura de válvula desde el 25% al 100%.
- Propilenglicol con nanopartículas de alofán.

Para realizar a pruebas con alofán se realiza primero la síntesis de nanopartículas, para ello se usó el método de co-precipitación, ya mencionado en la introducción.

Cuyos parámetros se resumen en la tabla 1.

Tabla 1 Parámetros síntesis de nanopartículas de alofán

Parámetro	Cantidad
Cantidad total de hidróxido de sodio.	320 g
Cantidad total de nitrato de aluminio nona-hidratado.	1000 g
Cantidad total de silicato de sodio.	710 ml
Agitación	400 rpm
Tiempo	45-60 min

Fuente: Autores

Siguiendo el método se obtuvo la cantidad de nanopartículas necesarias para realizar la experimentación.

Según estudios bibliográficos la concentración de nanopartículas recomendada en nano refrigerante está en un rango de 0,05-5 % en volumen, y esto se demostró ya que adicionar cantidades de nanopartículas menor al 1% en volumen el calor específico del mismo aumenta, por este motivo se realizaron las pruebas con una concentración de 0,5% en volumen de nanopartículas de alofán, tanto en concentraciones de 15% y 21% de propilenglicol que fueron las que generan mejores resultados sin dañar el equipo de refrigeración.

Finalmente se recolectan los datos y se los procesa en el software matemático Matlab y se analiza y compara las curvas de enfriamiento para su análisis.

Análisis de los resultados

A continuación, se presentan los datos obtenidos por medio de los ensayos realizados en el equipo chiller con los diferentes refrigerantes a distintas concentraciones.

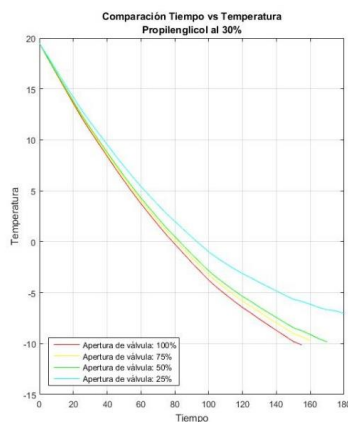


Figura 3: Curvas propilenglicol al 30%
Fuente: Autores

En la figura 3 se observa la curva de enfriamiento del propilenglicol con una concentración del 30%, a diferente apertura de válvula empezando desde el 25% hasta el 100% y se observa que no hay una diferencia significativa en cuanto al caudal, sin embargo, es más eficiente el enfriamiento con una apertura total de la válvula en la que la temperatura llega a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ aproximadamente, el tiempo que se toma desde que empieza el equipo a enfriar es de 150 minutos donde se estabiliza la temperatura y cuando hay una apertura de la válvula solo del 25% este aumenta 180 minutos para alcanzar la misma temperatura, por lo que se recomienda trabajar con un 100% de apertura si el proceso lo permite, sin embargo se ha descartado esta concentración puesto que el gasto de refrigerante secundario sería excesivo y el tiempo que tarda en llegar a las temperaturas esperados es muy elevado con lo que el sistema es ineficiente para esta concentración.

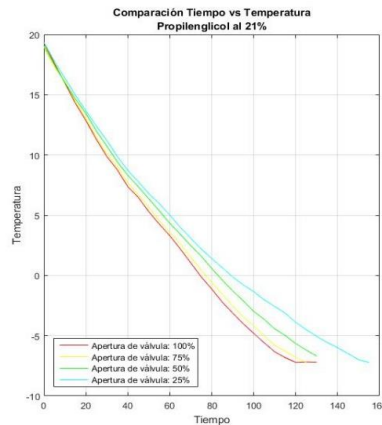


Figura 4: Curvas propilenglicol al 21%
Fuente: Autores

En la figura 4 se observa la curva de enfriamiento del propilenglicol con una concentración del 21%, a diferente apertura de válvula empezando desde el 25% hasta el 100% y se observa que no hay una diferencia significativa en cuanto al caudal, sin embargo, es más eficiente el enfriamiento con una apertura total de la válvula en la que la temperatura llega a $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ aproximadamente, el tiempo que se toma desde que empieza el equipo a enfriar es de 120 minutos donde se estabiliza la temperatura y cuando hay una apertura de la válvula solo del 25% este aumenta hasta los 150 minutos para alcanzar la misma temperatura, por lo que se recomienda trabajar con un 100% de apertura si el proceso lo permite.

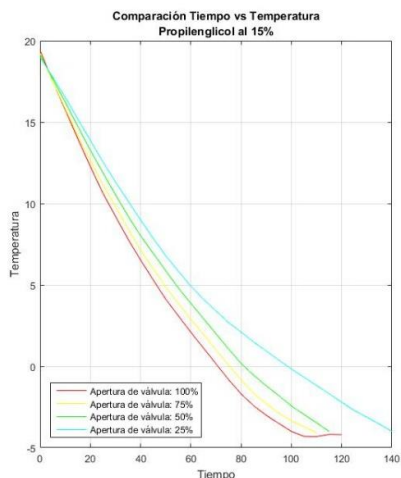


Figura 5: Curvas propilenglicol al 15%
Fuente: Autores

En la figura 5 se ha graficado las temperaturas y el tiempo que demora en llegar a éstas, con una concentración de propilenglicol al 15% y se puede observar que se llega aproximadamente a -4°C en un tiempo de 100 minutos con una apertura de válvula al 100%, y luego se estabiliza, por lo que esta se vuelve más eficiente ya que tarda menos en alcanzar las temperaturas deseadas, aunque no llega a la temperatura que alcanzaba con la concentración del 21%, esto se debe a que ha disminuido este refrigerante alternativo con lo que se volvió necesario buscar otros métodos para que este sistema sea ajustable a diferentes aplicaciones en la industria, es por eso que surgió la idea de adicionar nano-partículas de alofán aprovechando sus propiedades para la conductividad térmica, y para ello se sintetizó y caracterizó estas nano-partículas en la ESPOCH siguiendo la metodología que ya se ha mencionado y además con la ayuda de equipos y materiales de los laboratorios de la institución.

Después del análisis teórico y de varios ensayos se determinó que la cantidad ideal de nano-partículas de alofán es de 0,5% y se realizaron los ensayos en las concentraciones de propilenglicol al 21% y 15%.

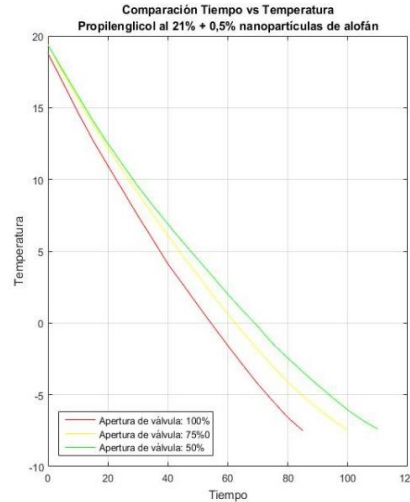


Figura 6: Curvas propilenglicol al 21%+05% nano-partículas de alofán
Fuente: Autores

En la figura 6 se ha graficado las temperaturas y el tiempo que demora en llegar a éstas, con la adición del 0,5% de nano-partículas de alofán y una concentración del 21 % de propilenglicol, donde se puede observar que se llega aproximadamente a -7°C en un tiempo de 82 minutos con una apertura de válvula al 100%, por lo que esta se vuelve más eficiente, no solo porque tarda menos en alcanzar dichas temperaturas, sino que incluso llega a disminuir algunos grados con lo que se aplicaría a distintas industrias que requieren temperaturas menores. Al igual que el caso anterior si se disminuye la apertura de la válvula entonces el tiempo para alcanzar estas temperaturas es mayor, sin embargo, aunque se trabaje con apertura del 50% o 75% el tiempo oscila entre los 100 a 110 minutos, con lo que se comprueba que la adición de este elemento mejora considerablemente los tiempos de enfriamiento.

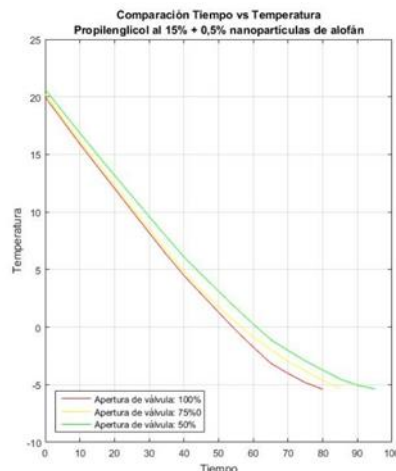


Figura 7: Curvas propilenglicol al 15%+05% nano-partículas de alofán
Fuente: Autores

En la figura 7 se ha realizado el mismo ensayo con adición de nano-partículas de alofán, pero en una concentración del 15% de propilenglicol. Se ve en la curva que se aproximadamente a -5°C en un tiempo de 80 minutos con una apertura de válvula al 100%, por lo que esta se vuelve más eficiente si tan solo se utiliza el refrigerante alternativo, claro que se aplicaría en el caso de requerir estas temperaturas, para aplicaciones con temperaturas menores será necesario aumentar la concentración de propilenglicol.

Si se trabaja con una apertura de válvula del 50% o 75% el tiempo oscila entre los 90 a 100 minutos, con lo que se comprueba que la adición de este elemento mejora considerablemente los tiempos de enfriamiento.

Conclusión

La selección de un anticongelante para la formación de un refrigerante secundario requiere el análisis de varios criterios dependiendo de la aplicación, ya que en función de la necesidad se requerirá de ciertas propiedades especiales del fluido secundario, en esta investigación los criterios utilizados para el estudio fueron el de no toxicidad y de mejor transferencia de calor.

Las pruebas experimentales para cada concentración iniciaron con la apertura de la válvula al 25%, se realizaron hasta llegar a temperaturas cercanas a la temperatura de congelación de la solución para cada concentración, en el desarrollo de estas pruebas se notó que la válvula al estar abierta solo el 25% provoca una gran caída de presión y que a medida que la salmuera se acerca a la temperatura de congelación existe un incremento excesivo de densidades lo que hace que sea

más difícil impulsar el fluido provocando una disminución muy notable del caudal lo que provoca baja transferencia de calor.

Con la adición de nano-partículas de alofán se logró reducir el tiempo de enfriamiento de la solución aproximadamente de 120 min a 80 min para una concentración del 15% de propilenglicol con una apertura de válvula del 100%, mientras que para la concentración del 21% de propilenglicol el tiempo disminuyó de 130 min a 85 min.; con una apertura de válvula del 100% en la cual la bomba trabaja a su máxima eficiencia.

Para el caso en que se requiera investigar el comportamiento de fluidos secundarios a temperaturas menores a los $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ se recomienda proceder a cambiar la bomba por una de mayor potencia, la misma que permita bombear fluido a muy baja temperatura lo que es utilizada en varias de las aplicaciones industriales.

Referencias

1. GARCÍA AGUILAR, Julio César. Intoxicación por anticongelante automotriz [En línea](Trabajo de titulación). (Tesis) Universidad Nacional Autónoma de México, Distrito Federal de México, México. Disponible en: https://www.zaragoza.unam.mx/portal/wp-content/Portal2015/Licenciaturas/qfb/tesis/tesis_garcia_aguilar.pdf
2. GONZÁLES BESA, Yoalnda. Análisis comparativo de la influencia del anticongelante en una instalación solar térmica [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad de Sevilla, Departamento de Ingeniería Energética, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Sevilla-España. 2014. pp. 28-38. Disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/90163/fichero/TFG++Yolanda+Gonz%C3%A1lez+Besa.pdf>
3. GUAMÁN, Paúl, & MUÑOZ, Cristián Mauricio. Análisis de datos de un chiller para determinar el comportamiento de las curvas de enfriamiento del propilenglicol y su comparación con el cloruro de calcio. [En línea] (Trabajo de titulación). (Tesis de pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería Mecánica, Riobamba-Ecuador. 2017. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/8078>

4. HERNÁNDEZ, Diana, et al. Analysis of working nanofluids for a refrigeration system. DYNA [en línea],2016,(Colombia) 83(196), Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/301579996_Analysis_of_working_nanofluids_for_a_refrigeration_system?fbclid=IwAR1U1GB6EKi77Tg5HRA95tXz9BjUulcljVW3aarjXwPBoMSvF4PtS1yfcG4
5. INCROPERA, Frank, & DEWWITT, David P. Fundamentos de Transferencia de Calor. 4a ed. Mexico: Prentice Hall, 1999. ISBN 970-17-0170-4.
6. LEVARD, C. "Structure and distribution of allophanes, imogolita and proto-imogolite in volcanic soils". Geoderma [en línea], 183-184 pp. 100-108. ISSN 0016-7061. Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706112001280?fbclid=IwAR2pwS2_ck1JyitLpX7YFnz5wCKUZVQ9J14Ui1-V2y8qpnxfGEG3QzOu5s
7. MACAS SARABIA, José Stalin, & TOAINGA MOLINA, Esteban Eduardo. Repotenciación y análisis de datos del chiller del laboratorio de transferencia de calor, para la determinación de las curvas de enfriamiento [En línea] (Trabajo de titulación). (Tesis de Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería Mecánica. Riobamba-Ecuador. 2015. Disponible en: <http://dspace.espech.edu.ec/bitstream/123456789/4653/1/15T00623.pdf>
8. RIBEIRO SALAZAR, Luis Rafael. Manual de Operción y Mantenimiento para los equipos de aire acondicionado del CC Parque Cerro Verde [En línea] (Trabajo de titulación). (Tesis de pregrado) Universidad Simón Bolívar, Decanato de Estudios Profesionales, Coordinación de Mecánica. Sartenejas-Venezuela. 2016. pp. 8-23. Disponible en: <http://159.90.80.55/tesis/000174824.pdf>
9. STOECKER, Wilbert F. Industrial Refrigeration Handbook [en línea]. New York-USA: McGraw-Hill Education, 1998. Disponible en: <https://refacsmkn1crb.files.wordpress.com/2012/11/industrial-refrigeration-handbook-stoecker.pdf>
10. KISHORE, Nadkarni R. Guide to ASTM Test Methods for the Analysis of Petroleum Products and Lubricants. Segunda. West Conshohocken-EE.UU: ASTM International, 2007. pp. 273-274.

11. MOTT, Robert L. Mecánica de Fluidos Aplicada. 4ª ed. México: Pearson, 2006. pp. 12-146.
12. MÜLLER, Erich. Termodinámica Básica. 2ª ed. Caracas-Colombia: Consultora Kemiteknik C.A., 2002. pp. 121-124.
13. VARELA CUNAZZA, Francisco Andrés. Efecto del tipo de secado en las propiedades índice y compresibilidad de suelos de origen volcánico [En línea]. (Trabajo de titulación). (Tesis de pregrado) Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Civil. Santiago de Chile-Chile. 2016. pp. 18-24. Disponible en: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/140031>
14. WADA, Shin-Ichiro; et al. "Synthetic Allophane and Imogolite". Journal of soil Science [en línea], 2006, (Japón) 30(2), pp. 347-349. ISSN 1365-2389. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/229970345_Synthetic_Allophane_and_Imogolite?fbclid=IwAR2XcCuCu-AUZVQ_M4vKPqLdJHPbLCvUBnZlZIoKMFKKkvAT83eDu_KpoIc
15. ZHOU, Le-Ping; et al. "On the Specific Heat Capacity of CuO Nanofluid". Advances in Mechanical Engineering [en línea], 2015, (China) 2(1), pp. 1-2. ISSN 16878140. Disponible en: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1155/2010/172085>
16. ASHRAE. Fundamentals. Atlanta-EE.UU: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 2009. pp. 775-778.
17. ASHRAE. Handbook - Refrigeration. Atlanta- EE.UU: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 2010. pp. 46-66.
18. CALLEN HERBERT, B. Introducción a las teorías físicas de la termostática del equilibrio y de la termodinámica irreversible. Madrid-España: AC, libros científicos y técnicos, 1985. p. 16.
19. CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY. Manual de Aire Acondicionado. Barcelona-España: Marcombo, 1980. pp 389-392.
20. COPELAND. Refrigeration System Components. Copeland Refrigeration Manual. Sidney- EE.UU: Emerson Climate Technologies, 1967, pp. 1-3.
21. DÍAZ BONIFÁZ, Rodrigo. Sistemas Térmicos. Riobamba-Ecuador: Ecocopycenter, 2011. p. 175.

22. IGNATOWICZ, Monika. Corrosion aspects in indirect systems with secondary refrigerants [en línea] (Trabajo de titulación). (Maestría). KTH School of Industrial Engineering and Management Division of Applied Thermodynamic and Refrigeration, Stockholm, Sweden.

References

1. GARCÍA AGUILAR, Julio César. Automotive antifreeze poisoning [Online] (Titling work). (Thesis) National Autonomous University of Mexico, Federal District of Mexico, Mexico. Available at: https://www.zaragoza.unam.mx/portal/wp-content/Portal2015/Licenseturas/qfb/tesis/tesis_garcia_aguilar.pdf
2. GONZÁLES BESA, Yoalnda. Comparative analysis of the influence of antifreeze on a solar thermal installation [Online] (Titration work). (Master's degree) University of Seville, Department of Energy Engineering, Higher Technical School of Engineering, Seville-Spain. 2014. pp. 28-38. Available at: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/90163/fichero/TFG++Yolanda+Gonz%C3%A1lez+Besa.pdf>
3. GUAMÁN, Paúl, & MUÑOZ, Cristián Mauricio. Data analysis of a chiller to determine the behavior of the propylene glycol cooling curves and their comparison with calcium chloride. [Online] (Degree work). (Undergraduate thesis) Polytechnic School of Chimborazo, Faculty of Mechanics, School of Mechanical Engineering, Riobamba-Ecuador. 2017. Available at: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/8078>
4. HERNÁNDEZ, Diana, et al. Analysis of working nanofluids for a refrigeration system. DYNA [online], 2016, (Colombia) 83 (196), Available at: https://www.researchgate.net/publication/301579996_Analysis_of_working_nanofluids_f_or_a_refrigeration_system?fbclid=IwAR1U1GB6EKi77Tg5HRA95tXj9WjBoxul4JfWJWJWXWJWJWJWJW0W0W0W0W04W02W02W03W02W02
5. INCROPERA, Frank, & DEWITT, David P. Foundations of Heat Transfer. 4th ed. Mexico: Prentice Hall, 1999. ISBN 970-17-0170-4.
6. LEVARD, C. "Structure and distribution of allophanes, imogolite and proto-imogolite in volcanic soils". Geoderma [online], 183-184 pp. 100-108. ISSN 0016-7061. Available at:

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706112001280?fbclid=IwAR2pwS2_ck1JyitLpX7YFnz5wCKUZVQ9J14Ui1-V2y8qpnxfGEg3QzOu5s

7. MACAS SARABIA, José Stalin, & TOAINGA MOLINA, Esteban Eduardo. Repowering and analysis of data from the heat transfer laboratory chiller, for the determination of cooling curves [Online] (Titration work). (Undergraduate Thesis) Polytechnic School of Chimborazo, Faculty of Mechanics, School of Mechanical Engineering. Riobamba-Ecuador. 2015. Available at: <http://dspace.esepoch.edu.ec/bitstream/123456789/4653/1/15T00623.pdf>
8. RIBEIRO SALAZAR, Luis Rafael. Operation and Maintenance Manual for air conditioning equipment at the Cerro Verde CC Park [Online] (Titling work). (Undergraduate thesis) Simón Bolívar University, Deanship of Professional Studies, Coordination of Mechanics. Sartenejas-Venezuela. 2016. pp. 8-23. Available at: <http://159.90.80.55/tesis/000174824.pdf>
9. STOECKER, Wilbert F. Industrial Refrigeration Handbook [online]. New York-USA: McGraw-Hill Education, 1998. Available at: <https://refacsmkn1crb.files.wordpress.com/2012/11/industrial-refrigeration-handbook-stoecker.pdf>
10. KISHORE, Nadkarni R. Guide to ASTM Test Methods for the Analysis of Petroleum Products and Lubricants. Second. West Conshohocken-USA: ASTM International, 2007. pp. 273-274.
11. MOTT, Robert L. Applied Fluid Mechanics. 4th ed. Mexico: Pearson, 2006. pp. 12-146.
12. MÜLLER, Erich. Basic Thermodynamics 2nd ed. Caracas-Colombia: Kemiteknik C.A. Consultant, 2002. pp. 121-124.
13. VARELA CUNAZZA, Francisco Andrés. Effect of the type of drying on the index and compressibility properties of volcanic soils [Online]. (Degree work). (Undergraduate thesis) University of Chile, Faculty of Physical and Mathematical Sciences, Department of Civil Engineering. Santiago de Chile-Chile. 2016. pp. 18-24. Available at: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/140031>
14. WADA, Shin-Ichiro; et al. "Synthetic Allophane and Imogolite". Journal of soil Science [online], 2006, (Japan) 30 (2), pp. 347-349. ISSN 1365-2389. Available at: https://www.researchgate.net/publication/229970345_Synthetic_Allophane_and_Imogolite

e?fbclid=IwAR2XcCuCu-

AUZVQ_M4vKPqLdJHPbLCvUBnZlZIoKMFKKkvAT83eDu_Kpop

15. ZHOU, Le-Ping; et al. "On the Specific Heat Capacity of CuO Nanofluid". *Advances in Mechanical Engineering* [online], 2015, (China) 2 (1), pp. 1-2. ISSN 16878140. Available at: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1155/2010/172085>
16. ASHRAE. *Fundamentals Atlanta-USA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.*, 2009. pp. 775-778.
17. ASHRAE. *Handbook - Refrigeration. Atlanta- USA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.*, 2010. pp. 46-66.
18. CALLEN HERBERT, B. *Introduction to the physical theories of equilibrium thermostatics and irreversible thermodynamics. Madrid-Spain: AC, scientific and technical books*, 1985. p. 16.
19. CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY. *Air Conditioning Manual. Barcelona-Spain: Marcombo*, 1980. pp 389-392.
20. COPELAND. *Refrigeration System Components. Copeland Refrigeration Manual. Sydney- USA: Emerson Climate Technologies*, 1967, pp. 1-3.
21. DÍAZ BONIFÁZ, Rodrigo. *Thermal Systems Riobamba-Ecuador: Ecopycenter*, 2011. p. 175.
22. IGNATOWICZ, Monika. *Corrosion aspects in indirect systems with secondary refrigerants* [online]. (Master's degree). KTH School of Industrial Engineering and Management Division of Applied Thermodynamic and Refrigeration, Stockholm, Sweden.

Referências

1. GARCÍA AGUILAR, Julio César. *Envenenamento anticongelante automotivo* [Online] (Trabalho de titulação). (Tese) Universidade Nacional Autônoma do México, Distrito Federal do México, México. Disponível em: https://www.zaragoza.unam.mx/portal/wp-content/Portal2015/Licenseturas/qfb/tesis/tesis_garcia_aguilar.pdf
2. GONZÁLES BESA, Yoalnda. *Análise comparativa da influência do anticongelante em uma instalação solar térmica* [Online] (Trabalho de titulação). (Mestrado) Universidade de Sevilha, Departamento de Engenharia de Energia, Escola Superior de Engenharia,

- Sevilha-Espanha. 2014. pp. 28-38. Disponível em: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/90163/fichero/TFG++Yolanda+Gonz%C3%A1lez+Besa.pdf>
3. GUAMÁN, Paúl e MUÑOZ, Cristián Mauricio. Análise de dados de um chiller para determinar o comportamento das curvas de resfriamento de propileno glicol e sua comparação com cloreto de cálcio. [Online] (Trabalho de graduação). (Tese de graduação) Escola Politécnica de Chimborazo, Faculdade de Mecânica, Escola de Engenharia Mecânica, Riobamba-Ecuador. 2017. Disponível em: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/8078>
 4. HERNÁNDEZ, Diana, et al. Análise de nanofluidos de trabalho para um sistema de refrigeração. DYNA [online], 2016, (Colômbia) 83 (196), disponível em: https://www.researchgate.net/publication/301579996_Analysis_of_working_nanofluids_f_or_a_refrigeration_system?fbclid=IwAR1U1GB6EKi77Tg5HRA95W0W0J0J0J0J0
 5. INCROPERA, Frank, & DEWITT, David P. Fundações de transferência de calor. 4th ed. México: Prentice Hall, 1999. ISBN 970-17-0170-4.
 6. LEVARD, C. "Estrutura e distribuição de alofanos, imogólitos e protoimogólitos em solos vulcânicos". Geoderma [online], 183-184 pp. 100-108. ISSN 0016-7061. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706112001280?fbclid=IwAR2pwS2_ck1JyitLpX7YFnz5wCKUZVQ9J14Ui1-_V2y8qpnxfGEg3QzOu5s
 7. MACAS SARABIA, José Stalin e TOAINGA MOLINA, Esteban Eduardo. Repotenciação e análise de dados do chiller de laboratório de transferência de calor, para a determinação de curvas de resfriamento [Online] (Trabalho de titulação). (Tese de graduação) Escola Politécnica de Chimborazo, Faculdade de Mecânica, Escola de Engenharia Mecânica. Riobamba-Ecuador. 2015. Disponível em: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4653/1/15T00623.pdf>
 8. RIBEIRO SALAZAR, Luis Rafael. Manual de Operação e Manutenção de equipamentos de ar condicionado no Parque Cerro Verde CC [Online] (Trabalho de titulação). (Tese de graduação) Universidade Simón Bolívar, Reitoria de Estudos Profissionais, Coordenação de Mecânica. Sartenejas-Venezuela. 2016. pp. Disponível em: <http://159.90.80.55/tesis/000174824.pdf>

9. STOECKER, Wilbert F. Manual de Refrigeração Industrial [online]. Nova York-EUA: McGraw-Hill Education, 1998. Disponível em: <https://refacsmkn1crb.files.wordpress.com/2012/11/industrial-refrigeration-handbook-stoecker.pdf>
10. KISHORE, Nadkarni R. Guia de métodos de teste ASTM para análise de produtos petrolíferos e lubrificantes. Segundo. West Conshohocken-EUA: ASTM International, 2007. pp. 273-274.
11. MOTT, Robert L. Applied Fluid Mechanics. 4th ed. México: Pearson, 2006. pp. 12-146.
12. Müller, Erich. Termodinâmica básica 2nd ed. Caracas-Colômbia: Kemiteknik C.A. Consultant, 2002. pp. 121-124.
13. VARELA CUNAZZA, Francisco Andrés. Efeito do tipo de secagem nas propriedades de índice e compressibilidade de solos vulcânicos [Online]. (Trabalho de graduação). (Tese de graduação) Universidade do Chile, Faculdade de Ciências Físicas e Matemáticas, Departamento de Engenharia Civil. Santiago do Chile-Chile. 2016. pp. 18-24. Disponível em: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/140031>
14. WADA, Shin-Ichiro; et al. "Alofano Sintético e Imogolite". Revista de Ciência do solo [online], 2006, (Japão) 30 (2), pp. 347-349. ISSN 1365-2389. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/229970345_Synthetic_Allophane_and_Imogolite?fbclid=IwAR2XcCuCu-AUZVQ_M4vKPqLdJHPbLCvUBnZlZIoKMFKKkVAT83eDu_Kpop
15. ZHOU, Le-Ping; et al. "Sobre a capacidade térmica específica do nanofluido CuO". Avanços na engenharia mecânica [online], 2015, (China) 2 (1), pp. 1-2. ISSN 16878140. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1155/2010/172085>
16. Ashrae. Fundamentos Atlanta-EUA: Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado, Inc., 2009. pp. 775-778.
17. ASHRAE. Manual - Refrigeração. Atlanta- EUA: Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado, Inc., 2010. pp. 46-66.
18. CALLEN HERBERT, B. Introdução às teorias físicas dos termostáticos de equilíbrio e da termodinâmica irreversível. Madri-Espanha: AC, livros científicos e técnicos, 1985. p. 16
19. EMPRESA DE AR CONDICIONADO DA TRANSPORTADORA. Manual de Ar Condicionado. Barcelona-Espanha: Marcombo, 1980. pp 389-392.

20. COPELAND. Componentes do sistema de refrigeração. Manual de refrigeração Copeland. Sydney- EUA: Emerson Climate Technologies, 1967, pp. 1-3.
21. DÍAZ BONIFÁZ, Rodrigo. Sistemas Térmicos Riobamba-Ecuador: Ecocopycenter, 2011. p. 175
22. IGNATOWICZ, Monika. Aspectos de corrosão em sistemas indiretos com refrigerantes secundários [online]. (Maestria) Escola KTH de Engenharia Industrial e Divisão de Gerenciamento de Termodinâmica Aplicada e Refrigeração, Estocolmo, Suécia.

©2019 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).