



DOI: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v5i2.1073>

Ciencias técnicas y aplicadas

Artículo de investigación

Comparación del comportamiento de refrigerantes secundarios a base de cloruro de calcio y propilenglicol en equipos chiller

Comparison of the behavior of secondary refrigerants based on calcium chloride and propylene glycol in chiller equipment

Comparison of the behavior of secondary refrigerants based on calcium chloride and propylene glycol in chiller equipment

Telmo Jesús Moreno-Romero ^I
telmo.moreno@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-1438-5488>

Christian Mauricio Muñoz-Valle ^{III}
chocleins1@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-6853-6723>

Edwin Fernando Viteri-Núñez ^{II}
eviteri@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-3029-775X>

Paul Alejandro Guamán-Caba ^{IV}
paul-gc1@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-6927-2977>

Recibido: 29 de octubre de 2019 ***Aceptado:** 25 de noviembre de 2019 * **Publicado:** 10 de diciembre de 2019

- ^I Máster en Ciencias. Especialista en Computación Aplicada al Ejercicio, Ingeniero Mecánico, Docente de la Facultad de Mecánica en la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- ^{II} Magíster en Gerencia de Proyectos de Ecoturismo, Ingeniero Mecánico, Docente de la Facultad de Mecánica en la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- ^{III} Ingeniero Mecánico, Docente de la Facultad de Mecánica en la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Riobamba, Ecuador
- ^{IV} Ingeniero Mecánico, Docente de la Facultad de Mecánica en la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

Resumen

En el presente trabajo se analiza el comportamiento de refrigerantes secundarios a base de CaCl_2 y PG en un equipo chiller, esto mediante la comparación de sus curvas de enfriamiento, las mismas que se obtienen a distintos valores de concentración de la solución y con variaciones de los caudales de circulación del refrigerante secundario, con la finalidad de encontrar parámetros que permitan tener un funcionamiento óptimo y eficiente del equipo chiller, los parámetros encontrados en este trabajo sirven como base para implementar sistemas de refrigeración nuevos o realizar cambios en sistemas existentes en el cual se analiza variantes para realizar la selección de un refrigerante secundarios que se adapte a requerimientos específicos del usuario.

Palabras claves: Chiller; anticongelante; propilenglicol; cloruro de calcio; curvas de enfriamiento; refrigerante secundario.

Abstract

In the present work, the behavior of secondary refrigerants based on CaCl_2 and PG in a chiller is analyzed, by comparing their cooling curves, which are obtained at different concentration values of the solution and with variations of the circulating flows of the secondary refrigerant, with the purpose of finding parameters that allow to have an optimal and efficient functioning of the chiller equipment, the parameters found in this work serve as a basis to implement new refrigeration systems or to make changes in existing systems in the which analyzes variants to perform the selection of a secondary refrigerant that is adapted to specific user requirements.

Keywords: Chiller Antifreeze; propylene glycol; calcium chloride; cooling curves; secondary coolan.

Resumo

No presente trabalho, analisa-se o comportamento de refrigerantes secundários baseados em CaCl_2 e PG em um chiller, comparando suas curvas de resfriamento, obtidas em diferentes valores de concentração da solução e com variações dos fluxos circulantes do refrigerante secundário, com

Com o objetivo de encontrar parâmetros que permitam ter um funcionamento ideal e eficiente do equipamento de resfriador, os parâmetros encontrados neste trabalho servem como base para implementar novos sistemas de refrigeração ou para fazer alterações nos sistemas existentes nas variantes de quais variantes para realizar a seleção. de um refrigerante secundário que é adaptado aos requisitos específicos do usuário.

Palavras-chave: Anticongelante refrigerador; propilenoglicol; cloreto de cálcio; curvas de resfriamento; coolan secundário

Introducción

Los sistema de refrigeración tanto a nivel doméstico, comercial e industrial son grandes consumidores de energía por lo cual en los últimos años se ha incrementado notablemente la necesidad de contar con un consumo de energía más eficiente, tomando en cuenta además el impacto ambiental y el factor económico de estos sistemas [1] [2].

Los procesos de refrigeración deben ser analizados con la finalidad de contar con sistemas eficientes con un alto valor de COP, para esto es necesario buscar mejoras en el rendimiento de los elementos del sistema, analizar los refrigerantes considerando que estos sean seguros, detectar averías que afectan al sistema [2] y analizar las condiciones del medio y del fluido a refrigerar tomando en cuenta la temperatura [3].

El sistema de refrigeración por compresión de vapor es el más utilizado [4] y entre sus principales componentes se encuentran el compresor, condensador, válvula de expansión y el evaporador, este sistemas es el que utiliza el equipo chiller para llevar a cabo el proceso de refrigeración.

El Chiller

El chiller es una planta de enfriamiento industrial y comercial que funciona como un sistema de refrigeración indirecto, esto significa que el refrigerante del ciclo de refrigeración no está en contacto directo con el proceso que se lleva a cabo en la planta industrial, en este caso el refrigerante absorbe calor del medio de enfriamiento conocido este como refrigerante secundario o fluido secundario el mismo que es impulsado por una bomba hacia el proceso de la planta industrial.

Figura 1: Equipo chiller



Realizado por: Autores

El sistema indirecto tiene la ventaja de minimizar las fugas y la carga de refrigerante [5] ya que para refrigerar unidades y terminales remotos se necesitaría gran capacidad del sistema y gran cantidad de refrigerante elevando así el costo de la instalación.

Refrigerantes Secundarios

Los refrigerantes secundarios generalmente no cambian de fase a diferencia del refrigerante primario del ciclo de refrigeración, para este fin se usa agua pero para requerimientos a temperaturas menores de 0°C se usa soluciones compuestas por agua y anticongelante. Entre las soluciones acuosas más utilizadas se encuentran las soluciones de etilenglicol y propilenglicol, alcohol etílico, cloruros de sodio y cloruros de calcio y sales de potasio [5].

Al analizar la selección de un anticongelante para refrigerante secundario se debe tomar en cuenta que la transferencia de calor también puede intensificarse mediante el uso de fluidos de transferencia de calor con propiedades favorables, [6] además debe tomarse en cuenta las características del fluido en lo referente a inflamabilidad, corrosión, nivel de toxicidad, contaminación, manipulación segura, y principalmente la consideración de que un refrigerante secundario no es ideal para toda aplicación. [7]

Solución de CaCl₂

De los anticongelantes nombrados anteriormente los de menor costo son los cloruros, pero tienen la desventaja de ser altamente corrosivos, en lo referente al CaCl₂ tiene entre sus principales

características: alto calor específico, es no tóxico y posee bajo punto de congelación incluso menor que la solución de NaCl, razones por las cuales es muy usado en aplicaciones de refrigeración industrial. En un estudio anterior se realizaron pruebas experimentales con CaCl_2 con la finalidad de analizar su comportamiento y obtener un histórico de temperaturas por lo que nace la expectativa de comparar este comportamiento con el de otro anticongelante que tenga aplicaciones similares.

La adición de EG o PG al agua deprime el punto de congelación de la mezcla, pero también disminuye su conductividad térmica ya que los glicoles tienen menor conductividad térmica que el agua [8], además se tiene alta viscosidad especialmente a bajas temperaturas, entonces la transferencia de calor es débil y la caída de presión es alta por lo que se necesita un incremento de la velocidad del flujo para una mejor transferencia de calor [9]. EG tiene mayor conductividad térmica que el PG pero debido a la toxicidad del EG, este es sustituido por PG [10].

Análisis de la nueva propuesta de refrigerante secundario para cambiar el funcionamiento del equipo chiller.

En regiones frías del mundo el fluido de transferencia de calor es una mezcla de PG y agua para evitar el congelamiento [8], tiene atractivas propiedades como solvente, humectante, anticongelante que combinado con su relativo bajo nivel de toxicidad, han dirigido su extensa utilización en un largo número de productos industriales y comerciales.

La FDA clasifica al PG como un aditivo que es generalmente reconocido como seguro para su uso en alimentos. PG es comúnmente el mejor constituyente de anticongelantes y líquidos de deshielo de carros, aviones y barcos [11], es considerado un refrigerante de grado alimenticio por lo tanto se lo escoge para calentadores solares de agua y en la industria alimenticia [12] y también es ampliamente utilizado en el campo farmacéutico como vehículo para el suministro de fármacos, estabilizante para vitaminas, bacteriostático y fungistático este amplio uso en el sector farmacéutico es sostenido gracias a su poca toxicidad ya sea en el suministro oral o por vía intravenosa [13], todas las propiedades favorables mencionadas anteriormente han incentivado el estudio del comportamiento del PG, teniendo en cuenta que la temperatura mínima de congelación de la solución acuosa a base de PG es de -51°C [14] pero como se mencionó anteriormente al aumentar

su concentración y disminuir su temperatura aumenta la viscosidad lo que involucra mayores pérdidas por fricción y a su vez mayor potencia de bombeo, por lo que generalmente se usa a temperaturas de alrededor de -10°C , que es la temperatura mínima que se analiza en este estudio.

En este artículo se analiza el comportamiento de dos soluciones acuosas que funcionan como refrigerante secundario, los mismos que trabajan a similares condiciones de trabajo y entorno para encontrar las características de cada comportamiento. El resto del documento cuenta con las siguientes partes: metodología, comparación entre el comportamiento del CaCl_2 y PG y conclusiones encontradas en este trabajo y los análisis posteriores que se deben realizar para consolidar el conocimiento acerca de este tema.

Definiciones del proceso de refrigeración

CALOR: El calor es una forma de energía que cuantifica la diferencia que existe entre un estado inicial y final debido a un proceso que produce cambios en la energía interna de un cuerpo (Callen Herbert, 1985), de acuerdo con la segunda ley de la termodinámica el calor fluye de un cuerpo con mayor energía a uno con menor energía [16] por lo que siempre que exista una diferencia de temperatura existirá flujo de calor.

Las características de los fluidos y de las paredes de los elementos de transferencia de calor y adicionalmente la diferencia de temperatura son factores que determina la cantidad de calor transferido como se muestra en la ecuación siguiente según [16]

$$Q = A \cdot U \cdot \Delta T \quad (1)$$

Dónde:

Q: Calor transferido [W]

A: Superficie total de transferencia de calor [m^2]

U: Coeficiente global de transferencia de calor [$\text{W}/^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^2$]

ΔT : Diferencia de temperatura entre refrigerante y medio condensante [$^{\circ}\text{C}$]

Las propiedades del fluido de enfriamiento influyen sobre el coeficiente global de transferencia de calor y este a su vez en la transferencia de calor

En el instante en que consigue un equilibrio térmico entre los sistemas que se encuentran interactuando deja de existir la transferencia de calor. El calor puede presentarse en forma de calor latente y sensible, los mismos que se detallan a continuación:

CALOR SENSIBLE es calor necesario para elevar la temperatura del fluido sin que en este se produzca cambio en su estructura y por lo tanto no se produce un cambio de estado.

CALOR LATENTE es el término usado para designar al calor que produce un cambio en la fase de una sustancia pero no de la composición de la misma. Es un tipo de calor en el que no se percibe cambios de temperatura.

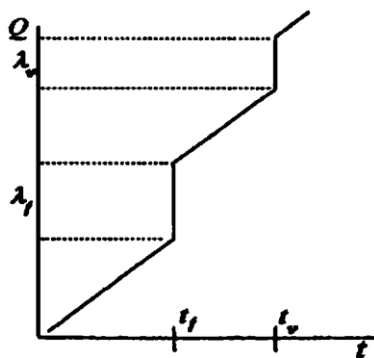


Figura 1: Diagrama calor vs temperatura

Fuente: Rodríguez, 1990 [17]

TEMPERATURA: Puede definirse como la medida que cuantifica las sensaciones de calor y frío [18], es de decir mide la capacidad que poseen los cuerpos para transportar calor, la temperatura no depende de la masa debido a que se la considera una propiedad intensiva. A nivel molecular la temperatura está relacionada con la velocidad que tienen las moléculas lo que conlleva a que mayor movimiento de las moléculas se tiene mayor temperatura.

FLUJO: Se describirse como la cantidad de volumen de un fluido que pasa por unidad de tiempo por una sección de un sistema cualquiera, expresandose esto en la siguiente ecuación [19]:

$$Q = A \cdot v \quad (2)$$

Dónde:

Q = Flujo volumetrico o caudal [m^3/s]

A = Area de la sección [m^2]

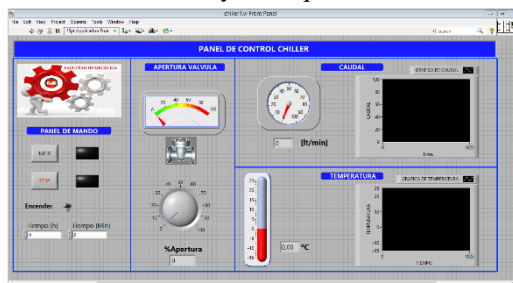
v = velocidad promedio del flujo [m/s]

Metodología

La comparación de refrigerantes secundarios no puede basarse en el análisis de una sola propiedad, debido a que varias propiedades termodinámicas tienen influencia en el funcionamiento del equipo chiller. Cuando se analiza el uso de un refrigerante secundario para un sistema de refrigeración, puede realizarse a sistemas existentes con un fluido mejorado o a un sistema nuevo. En el caso de un sistema ya existente sus componentes tales como las tuberías, bomba e intercambiadores de calor permanecen sin cambio solo el refrigerante secundario y el flujo de masa son cambiados [9], en este estudio se realizó el cambio de refrigerante secundario en el equipo chiller de $CaCl_2$ a PG y se trabajó a distintas concentraciones y caudales de circulación.

Para comparar el comportamiento de los refrigerantes mencionados se realizó pruebas experimentales a las mismas condiciones que en el caso de la experimentación con $CaCl_2$. El sistema de adquisición de datos crea un historial de temperatura y caudal del refrigerante secundario y genera un reporte el mismo que se analiza para obtener las curvas de enfriamiento.

Figura 2: Panel de control y de adquisición de datos del chiller



Realizado por: Autores

Las pruebas se realizaron con un volumen de 218 litros de solución acuosa a tres distintas concentraciones siendo las siguientes a 15%, 21% y 30% de PG, para cada concentración se realizaron cuatro pruebas a distintos caudales, esto se lo consiguió variando la apertura de la válvula

de la línea de circulación de PG a 25%, 50%, 75%, y al 100% mediante el control de un servomotor para este fin.

Entre las características del equipo se encuentran las siguientes:

- Potencia unidad condensadora: 3 HP
- Potencia bomba: 1/2 HP

Determinación del Cop

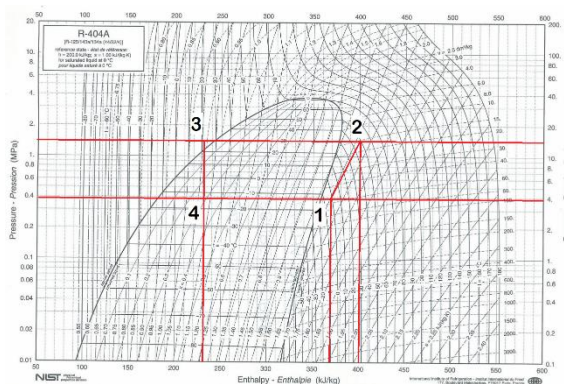
Antes se define cada estado con el uso de una tabla de propiedades para el refrigerante R404a y se realiza la extrapolación y comprobación en el diagrama de Mollier de cada estado del ciclo estándar de refrigeración por compresión de vapor.

Tabla 1: Estados del ciclo estándar de refrigeración por compresión

Estado	P[Psia]	P [MPa]	T[°C]	h [kJ/kg]
1	57,7	0,397	-1,1	370
2	216,7	1,494	49	401,7
3	216,7	1,494	22	231
4	57,7	0,397	-13	231

Realizado por: Autores

Figura 3: Ciclo estándar de refrigeración por compresión de vapor



Fuente: (https://fullserviceparana.blogspot.com/2015/01/manual-buenas-practicas-en_20.html)

$$COP_{Fun} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} = \frac{370 - 231}{401,7 - 370} = 4,384$$

Para determinar la eficiencia frigorífica se necesita además calcular el COP máximo del ciclo de Carnot, el mismo que se calcula a condiciones ideales, por lo que se tiene como temperatura caliente 30°C que es la

temperatura de condensación y como temperatura fría de -13°C que es la temperatura de evaporación que es la mínima alcanzada por el refrigerante en el ciclo de refrigeración:

$$COP_{Max} = \frac{T_C}{T_H - T_C} \quad (3)$$

Dónde:

COP_{Max} : COP máximo de Carnot [-]

T_C : Temperatura fría [K]

T_H : Temperatura caliente [K]

$$COP_{Max} = \frac{260 \text{ K}}{303 \text{ K} - 260 \text{ K}} = 6,046$$

$$\eta_r = \frac{COP_{Fun}}{COP_{Max}} \quad (4)$$

Dónde:

η_r : Eficiencia frigorífica [-]

COP_{Max} : COP máximo de Carnot [-]

COP_{Fun} : COP Teórico de funcionamiento [-]

$$\eta_r = \frac{4,384}{6,046} = 72,5\%$$

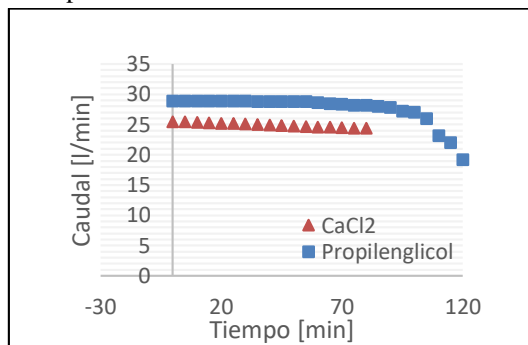
Este valor de eficiencia frigorífica es el mismo obtenido para el equipo cuando se realizaron las pruebas con CaCl_2 , por lo que se determina que una leve variación en las presiones de alta y de baja no produce cambios significativos en la eficiencia del equipo, esto debido a la configuración del equipo que trabaja a un grado de recalentamiento constante con un valor de $11,9^{\circ}\text{C}$ siendo este el resultado del recalentamiento producido en el evaporado y un recalentamiento ambiental producido en los conductos del refrigerante.

Comparación del comportamiento de CaCl_2 Y PG.

Entre las pruebas realizadas al 15%, 21% y 30% de concentración para ambas soluciones se analizó tres aspectos fundamentales el flujo, la temperatura y la velocidad de enfriamiento. Mediante los datos obtenidos durante las pruebas realizadas se obtuvo curvas de enfriamiento en los aspectos ya mencionados, obteniendo estas curvas por la variación de la apertura de la válvula.

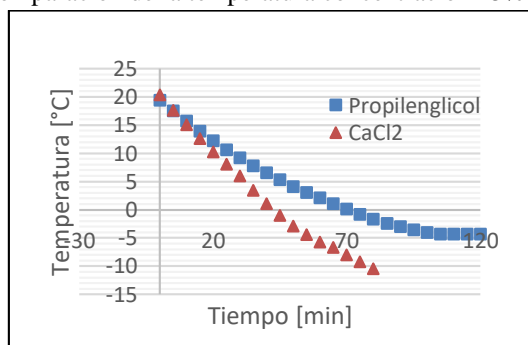
Curvas de enfriamiento para la concentración de 15%

Figura 4: Comparación del caudal concentración 15% válvula 100%.



Realizado por: Autores.

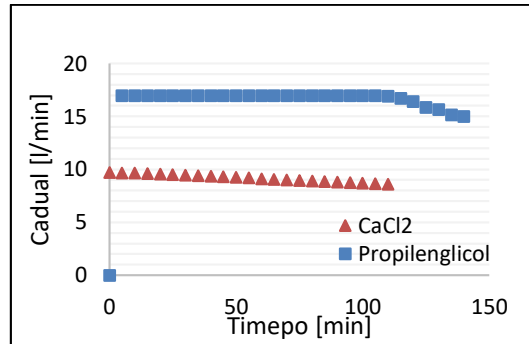
Figura 5: Comparación de la temperatura concentración 15% válvula 100%



Realizado por: Autores.

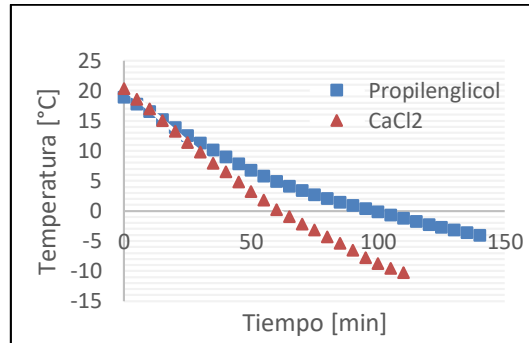
Del análisis del comportamiento de las dos soluciones para la concentración al 15% se aprecia que la solución de PG alcanza los -4°C en un tiempo aproximado de 100 minutos mientras que la solución de CaCl_2 necesita solo de 55 minutos para llegar a la misma temperatura lo que representa que se necesita que el equipo se encuentre encendido 45 minutos adicionales para conseguir enfriar la salmuera, respecto al caudal para las dos soluciones se aprecia que no existe una diferencia mayor de 1°C con la particularidad de que en la solución de PG se produce un decremento brusco de caudal cuando se acerca a la temperatura de congelación de la salmuera.

Figura 6: Comparación del caudal concentración 15% válvula 25%.



Realizado por: Autores

Figura 7: Comparación de la temperatura concentración 15% válvula 25%.



Realizado por: Autores

A medida de que aumenta la estrangulación de la válvula los datos van variando manteniéndose mayor el caudal en todas las pruebas para el PG en comparación al CaCl₂, aunque al hablar de velocidad de enfriamiento, es mayor la del CaCl₂ existen pequeñas concordancias en los valores de temperatura siendo más notorios en la apertura de 25% de la válvula durante los 25 minutos iniciales de experimentación. Se alcanza los -10°C con la solución de CaCl₂ en 80 minutos, pero con la solución de PG alcanza los -4,3 °C en 105 minutos.

Tabla 2: Velocidad de enfriamiento para la concentración de 15% y válvula al 100%

T [°C]	CaCl ₂ [°C/min]	PG [°C/min]	Error [%]
20 a 10	0,506	0,351	30,6

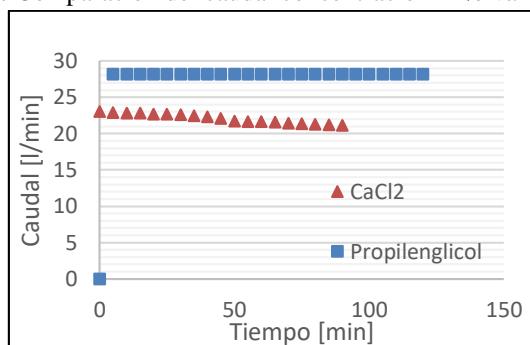
10 a 0	0,462	0,226	51,0
0 a -4	0,343	0,116	66,1

Realizado por: Autores

Curvas de enfriamiento para la concentración de 21%

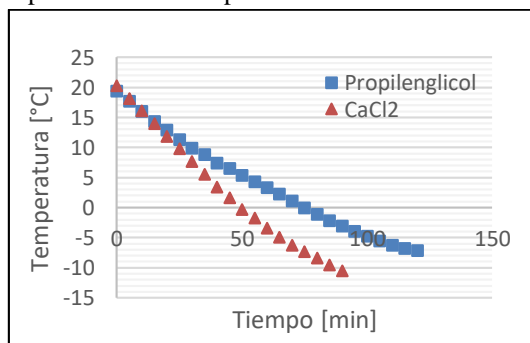
Al aumentar la concentración de ambas soluciones, sigue existiendo el mismo suceso en cuanto al caudal es mayor para la solución de PG aunque se va acortando la diferencia, la tendencia de la velocidad de enfriamiento es mayor para la solución de CaCl₂ con un aumento en el tiempo de enfriamiento, se alcanza los -8°C en un tiempo de 120 minutos, 30 minutos más que la solución de CaCl₂.

Figura 8: Comparación del caudal concentración 21% válvula 100%.



Realizado por: Autores

Figura 9: Comparación de la temperatura concentración 21% válvula 100%.

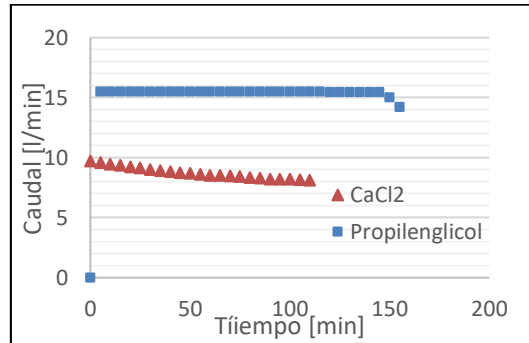


Realizado por: Autores

Para la solución al 21% es visible la diferencia que existe en el tiempo de enfriamiento como en el caso anterior, ya que para la solución de PG toma 115 minutos aproximadamente para llegar a los -7°C mientras que para la solución de CaCl₂ es de 75 minutos correspondiendo esto a una diferencia de 40 minutos adicionales con PG para llegar a la misma temperatura.

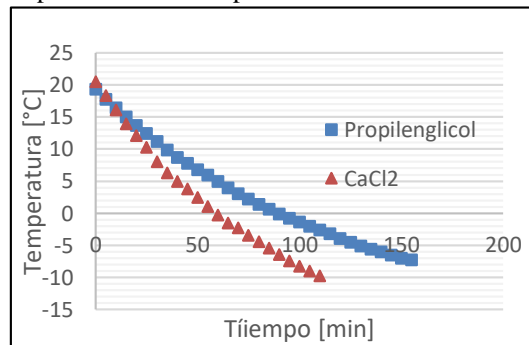
Si se analiza el comportamiento del caudal se visualiza que para la solución de CaCl₂ existe una variación de casi 2 litros por minuto, mientras que para propilenglicol es menor que 1 litro por minuto.

Figura 1: Comparación del caudal concentración 21% válvula 25%.



Realizado por: Autores

Figura 2: Comparación de la temperatura concentración 21% válvula 25%.



Realizado por: Autores

Se ve un aumento en la temperatura de enfriamiento en cuanto aumenta la concentración de PG, a la vez que aumenta el tiempo de enfriamiento, el error en cuanto a la velocidad de enfriamiento es menor en cuanto a la concentración del 15%.

Tabla 3: Velocidad de enfriamiento para la concentración de 21% y válvula al 100%

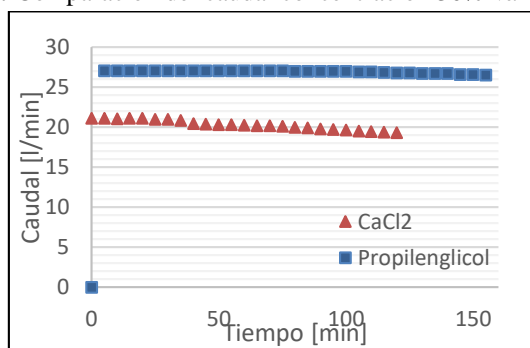
T [°C]	CaCl ₂ [°C/min]	PG [°C/min]	Error [%]
20 a 10	0,420	0,323	23,0
10 a 0	0,405	0,220	45,6
0 a -7	0,280	0,157	43,9

Realizado por: Autores

Curvas de enfriamiento para la concentración de 30%

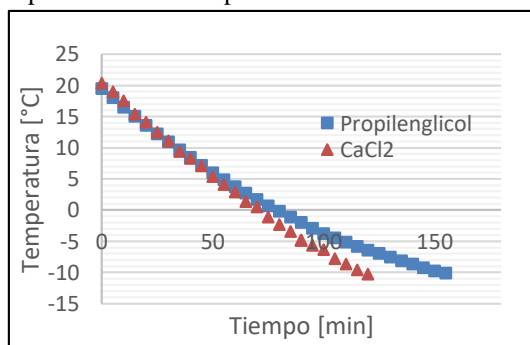
Se aprecia de mejor manera la similitud de datos en cuanto a la temperatura ya que la tendencia de la velocidad de enfriamiento se acerca más entre ambas soluciones por ende el error de la velocidad de enfriamiento disminuye.

Figura 3: Comparación del caudal concentración 30% válvula 100%.



Realizado por: Autores

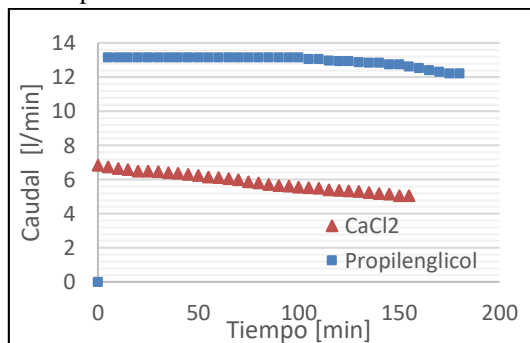
Figura 4: Comparación de la temperatura concentración 30% válvula 100%.



Realizado por: Autores

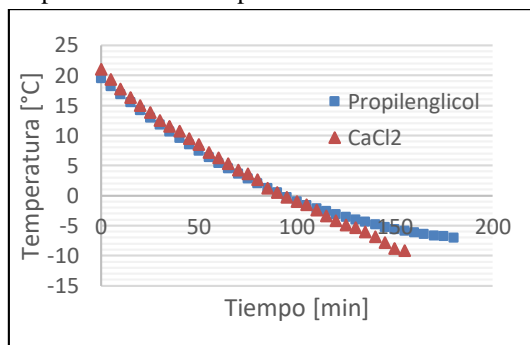
La solución de PG necesita de 155 minutos para alcanzar la temperatura de -10°C a diferencia de la solución de CaCl_2 que necesita solo de 120 minutos, lo que representa una diferencia de 35 minutos, de manera similar que en la solución al 21% la diferencia de caudal es similar notándose una diferencia menor de 2 litros para CaCl_2 y menor de un litro por minuto para PG.

Figura 14: Comparación del caudal concentración 30% válvula 25%.



Realizado por: Autores

Figura 15: Comparación de la temperatura concentración 30% válvula 25%.



Realizado por: Autores

Tabla 4: Velocidad de enfriamiento para la concentración de 30% y válvula al 100%.

T [°C]	CaCl2 [°C/min]	PG [°C/min]	Error [%]
20 a 10	0,308	0,286	7,14
10 a 0	0,254	0,224	11,8
0 a -10	0,203	0,131	35,4

Realizado por: Autores

El caudal sigue siendo mayor lo que implica que mantiene mejores propiedades en cuanto a fluidez por parte de la solución de PG, aunque si se alcanzó los -10°C con esta solución se llevó alrededor de 155 minutos y por parte de la solución de CaCl2 en un tiempo de 120 minutos siendo menor el tiempo de enfriamiento del CaCl2 pero con menor fluidez.

Conclusiones

De todas las pruebas experimentales para ambas concentraciones se pudo obtener curvas de enfriamiento donde comparamos el comportamiento del caudal y de la temperatura, para cada concentración se llegó a obtener temperaturas cercanas a la temperatura de congelación de la solución donde se constató que para todas las concentraciones se produce una gran caída de presión y a medida de que la solución se acerca a la temperatura de congelación disminuye drásticamente el caudal debido al incremento de la densidad siendo más notorio en la solución de CaCl_2 , ya que al aumentar excesivamente la densidad de la solución empieza a existir un sobreesfuerzo en la bomba debido a la oposición que tiene la solución a fluir provocando que se mas difícil impulsar el fluido.

Aunque en el aspecto de temperatura se llega alcanzar temperaturas de enfriamiento de -10°C con la solución de CaCl_2 con la concentración de 15% , 21% y 30% en menor tiempo a la concentración de PG con la cual se obtuvo -10°C una concentración de 30% , las velocidades de enfriamiento no difieren tanto entre si dándonos errores del 15% a la concentración de 30% por lo cual es justificable el cambio de medio de refrigeración secundaria de usar salmuera en base CaCl_2 a usar solución de PG.

Debido a que PG al ser un líquido es más fácil de manejar en presencia del agua, caso contrario con el CaCl_2 porque al ser una especie de escamas en contacto con el agua tienden a formar sedimentos mismos que a la larga acarrear la obstrucción del paso del fluido a la bomba por lo cual es necesario un agitador ocasionando mayores inconvenientes al momento de realizar las pruebas, otra desventaja es que el CaCl_2 es toxico en relación al PG, a su vez el PG se lo puede usar con más materiales que a diferencia del CaCl_2 que es altamente corrosivo, la coloración que se produce al mezclar el agua con el CaCl_2 es un tanto amarillenta por lo cual se dificulta la inspección del taque al no poder observar debido al color que obtiene la solución cosa que no sucede con el PG ya que es totalmente cristalino al igual que el agua facilitando así la inspección del tanque reservorio.

Referencias

- [1] J. A. Alfaya, G. Bejarano y M. G. Orte, «Control robusto multivariable de un ciclo de refrigeración,» de *XXXV Jornadas de Automática*, Valencia, 2014.
- [2] G. Bejarano, M. G. Ortega, F. R. Rubio y F. Morilla, «Modelado simplificado y orientado al control de sistemas de redrigeración,» de *XXXIV Jornadas de Automática*, Terrassa, 2013.
- [3] M. L. Ruz, S. Fragoso, F. Vázquez, J. Garrido, D. Rodríguez y F. Morilla, «Planta experimental para supervision y control del ciclo de refrigeracion por compresion de vapor,» de *XXXVII Jornadas de Automática*, Madrid, 2016.
- [4] J. M. Franco Lijó, *Manual de Refrigeración*, Barcelona: Reverte, 2006.
- [5] Å. Melinder, «Properties and Other Aspects of Aqueous Solutions Used for Single Phase and Ice Slurry Applications,» *International Journal of Refrigeration*, vol. 33, nº 8, pp. 1506-1512, 2010.
- [6] M. Prabhakaran, S. Manikandan, K. Suganthi, V. Leela Vinodhan y K. Rajan, «Development and Assessment of Ceria-Propylene Glycol Nanofluid as an Alternative to Propylene Glycol for Cooling Applications,» *Applied Thermal Engineering*, vol. 102, pp. 329-335, 2016.
- [7] Å. Melinder, «Update on Secondary Refrigerants for Indirect Systems,» *Proceedings of IEA Annex 26 Meeting*, vol. 2, pp. 1-2, 2000.
- [8] J. R. Satti, D. K. Das y D. Ray, «Investigation of the Thermal Conductivity of Propylene Glycol Nanofluids and Comparison with Correlations,» *International Journal of Heat and Mass Transfer*, pp. 871-881, 2017.
- [9] A. Aittomiiki y A. Lahti, «Potassium formate as a secondary refrigerant,» *International journal of refrigeration*, vol. 20, nº 4, pp. 276-282, 1997.
- [10] ASHRAE, *Fundamentals*, Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2009, pp. 775-778.

- [11] P. Wexler, *Encyclopedia Of Toxicology*, London: Elsevier, 2014.
- [12] M. Prabhakaran, S. Manikandan, K. Suganthi, V. Leela Vinodhan y K. Rajan, «Studies on microemulsions using Brij 96 as surfactant and glycerin, ethylene glycol and propylene glycol as cosurfactants».
- [13] Lagomorpha, «Rol del Propilenglicol: Pruebas experimentales en el conejo,» *Revista de la asociación Española de cunicultura*, p. 46.
- [14] W. F. Stoecker, *Industrial Refrigeration Handbook*, New York: McGraw-Hill, 1998.
- [15] B. Callen Herbert, *Introducción a las teorías físicas de la termostática del equilibrio y de la termodinámica irreversible*, Madrid: AC, libros científicos y técnicos, 1985, p. 16.
- [16] Y. A. Çengel, *Transferencia de calor y masa.*, Tercera ed., Mexico DF: McGraw-Hill InterAmericana, 2007, pp. 2, 62.
- [17] J. A. Rodríguez, *Introducción a la Termodinámica con Algunas Aplicaciones de Ingeniería*, Mexico: Universidad Tecnológica Nacional, 1990, p. 429.
- [18] E. Müller, *Termodinámica Básica*, Segunda ed., vol. 1, Caracas: Consultora Kemiteknik C.A., 2002, pp. 121-124.
- [19] R. L. Mott, *Mecánica de Fluidos Aplicada*, Cuarta ed., México: Pearson, 2006, pp. 12, 146.

References

- [1] J. A. Alfaya, G. Bejarano and M. G. Orte, «Robust multivariable control of a refrigeration cycle,» of XXXV Jornadas de Automática, Valencia, 2014.
- [2] G. Bejarano, M. G. Ortega, F. R. Rubio and F. Morilla, «Simplified modeling and oriented to the control of redirection systems,» of XXXIV Jornadas de Automática, Terrassa, 2013.

- [3] ML Ruz, S. Fragoso, F. Vázquez, J. Garrido, D. Rodríguez and F. Morilla, «Experimental plant for supervision and control of the steam compression refrigeration cycle,» of XXXVII Jornadas de Automática, Madrid , 2016.
- [4] J. M. Franco Lijó, Refrigeration Manual, Barcelona: Reverte, 2006.
- [5] Å. Melinder, "Properties and Other Aspects of Aqueous Solutions Used for Single Phase and Ice Slurry Applications," International Journal of Refrigeration, vol. 33, No. 8, pp. 1506-1512, 2010.
- [6] M. Prabhakaran, S. Manikandan, K. Suganthi, V. Leela Vinodhan and K. Rajan, "Development and Assessment of Ceria-Propylene Glycol Nanofluid as an Alternative to Propylene Glycol for Cooling Applications," Applied Thermal Engineering, vol . 102, pp. 329-335, 2016.
- [7] Å. Melinder, "Update on Secondary Refrigerants for Indirect Systems," Proceedings of IEA Annex 26 Meeting, vol. 2, pp. 1-2, 2000.
- [8] J. R. Satti, D. K. Das and D. Ray, "Investigation of the Thermal Conductivity of Propylene Glycol Nanofluids and Comparison with Correlations," International Journal of Heat and Mass Transfer, pp. 871-881, 2017.
- [9] A. Aittomiiki and A. Lahti, "Potassium formate as a secondary refrigerant," International journal of refrigeration, vol. 20, n° 4, pp. 276-282, 1997.
- [10] ASHRAE, Fundamentals, Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2009, pp. 775-778.
- [11] P. Wexler, Encyclopedia Of Toxicology, London: Elsevier, 2014.
- [12] M. Prabhakaran, S. Manikandan, K. Suganthi, V. Leela Vinodhan and K. Rajan, "Studies on microemulsions using Brij 96 as surfactant and glycerin, ethylene glycol and propylene glycol as cosurfactants".

- [13] Lagomorpha, «Role of Propylene Glycol: Experimental tests in the rabbit,» Journal of the Spanish Association of Cuniculture, p. 46.
- [14] W. F. Stoecker, Industrial Refrigeration Handbook, New York: McGraw-Hill, 1998.
- [15] B. Callen Herbert, Introduction to the physical theories of equilibrium thermostatics and irreversible thermodynamics, Madrid: AC, scientific and technical books, 1985, p. 16.
- [16] Y. A. Çengel, Heat and mass transfer., Third ed., Mexico City: McGraw-Hill InterAmerica, 2007, pp. 2, 62.
- [17] J. A. Rodriguez, Introduction to Thermodynamics with Some Engineering Applications, Mexico: Universidad Tecnológica Nacional, 1990, p. 429
- [18] E. Müller, Basic Thermodynamics, Second ed., Vol. 1, Caracas: Consultant Kemiteknik C.A., 2002, pp. 121-124.
- [19] R. L. Mott, Applied Fluid Mechanics, Fourth ed., Mexico: Pearson, 2006, pp. 12, 146.

©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/>).