



Modelamiento y simulación de un controlador difuso para un sistema de enfriamiento híbrido

Modeling and simulation of a diffuse controller for a hybrid cooling system

Modelagem e simulação de um controlador nebuloso para um sistema de resfriamento híbrido

Wendy Yajaira Romero-Medina ^I

wendyyr7@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-9177-7146>

Jakelyn Xiomara Romero-Medina ^{II}

romero.jxm@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-6837-4840>

José Antonio Romero-Paguay ^{III}

jromero@uea.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-7870-2908>

Andrés Marcelo Gordón-Garcés ^{IV}

amgordon@espe.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-6779-0989>

Correspondencia: laguilar@epoch.edu.ec

Ciencias técnicas y aplicadas

Artículo de investigación

***Recibido:** 31 de enero de 2020 ***Aceptado:** 28 de febrero de 2020 * **Publicado:** 25 de marzo de 2020

- I. Máster en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Docente Investigador Instituto Tecnológico Superior Baños, Baños, Ecuador.
- II. Ingeniera en Mecatrónica, Investigadora Independiente, Ecuador.
- III. Doctor en Ciencias Técnicas, Decano de la Universidad Estatal Amazónica, Sede El Pangui, Zamora, Ecuador.
- IV. Máster en Diseño de Producción y Automatización Industrial, Docente de la Universidad de las Fuerzas Armadas, Sede Latacunga, Ecuador.

Resumen

La presente investigación plantea el modelamiento y simulación de un control Difuso aplicado a un Sistema de Enfriamiento Híbrido, desarrollado en software libre (SCILAB). Reconociendo las variables de mayor incidencia sobre el sistema, de tal manera crear los conjuntos de pertenencia, para obtener un control más pegado a la realidad, se identifica un modelo matemático donde se relacionan las variables deseadas para observar la reacción de las variables a controlar y de esta manera poder tener los rangos de frontera necesario para establecer los conjuntos difusos. Conjuntamente al control difuso se analiza el Sistema de Enfriamiento Híbrido con aplicación de energía solar en la etapa de regeneración con el objetivo de mejorar su rendimiento.

Palabras claves: Enfriamiento híbrido; controlador difuso; modelo.

Abstract

This research proposes the modeling and simulation of a Diffuse control applied to a Hybrid Cooling System, developed in free software (SCILAB). Recognizing the variables with the highest incidence on the system, in such a way to create the membership sets, to obtain a control more closely attached to reality, a mathematical model is identified where the desired variables are related to observe the reaction of the variables to be controlled and in this way to be able to have the border ranges necessary to establish fuzzy sets. Together with the diffuse control, the Hybrid Cooling System with solar energy application in the regeneration stage is analyzed in order to improve its performance.

Keywords: Hybrid cooling; diffuse controller; model.

Resumo

A presente investigação propõe a modelagem e simulação de um controle difuso aplicado a um sistema de resfriamento híbrido, desenvolvido em software livre (SCILAB). Reconhecendo as variáveis com maior incidência no sistema, a fim de criar os conjuntos de membros, para obter um controle mais próximo da realidade, é identificado um modelo matemático onde as variáveis desejadas estão relacionadas para observar a reação das variáveis a serem controladas e dessa maneira, para poder ter os intervalos de borda necessários para estabelecer os conjuntos difusos. Juntamente com o controle difuso, o Sistema de Resfriamento Híbrido é analisado com a

aplicação de energia solar no estágio de regeneração, a fim de melhorar seu desempenho.

Palavras-chave: Resfriamento híbrido; controlador difuso; modelo.

Introducción

La necesidad de cubrir áreas que apoyen al desarrollo productivo del país, ha impulsado el estudio de nuevas investigaciones, como el deseo de mejorar los resultados obtenidos por medio del equipo de compresión de vapor de aire que en la actualidad es el más usado en el área de acondicionamiento de aire, implementando sistemas que brinden mejores prestaciones, con el adecuado control de las variables críticas del sistema, buscando eficiencias energéticas y el confort deseado tanto en refrigeración como en deshumidificación.

El uso de equipos de aire acondicionado en lugares cerrados para climas cálidos húmedos es de suma importancia, con el paso del tiempo se ha logrado diseñar sistemas conformados por varios equipos que permiten mejorar la calidad del aire incluyendo equipos no solo que controlen temperatura sino también humedad, sistemas denominados híbridos, sin embargo la implementación de este sistema representan un consumo energético elevado, por lo cual se han modelado y controlado los equipos que interfieren actualmente en la implementación de un sistema de enfriamiento híbrido como son: rueda desecante, rueda entálpica y compresor/evaporador, aclarando que poco son los trabajos que se refiera a un sistema híbrido de manera global, sino que únicamente puntualizan su estudio en el equipo que mayor impacto tiene dentro del sistema compuesto como es la rueda desecante pero el estudio en conjunto aún no se encuentra explotado en su totalidad.

Siendo un control MIMO el análisis del sistema se complica por lo que en la búsqueda de empezar con el estudio de un control para sistemas de enfriamiento híbridos, se estudia la mejor opción donde el control sea capaz de manejar un sistema multivariable y permita la manipulación de sus variables para reflejar si los resultados cumpliendo con las normas de confort "ASHRAE" la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado, sociedad global que promueve el bienestar humano a través de la tecnología sostenible para el medio ambiente construido y basados en el principio de incompatibilidad de Lotfy A. Zadeh, quien introduce el concepto de lógica difuso argumentando que "Conforme la complejidad de un sistema aumenta, nuestra capacidad para ser precisos y construir instrucciones sobre su comportamiento disminuye hasta el umbral más allá del cual, la precisión y el significado son

características excluyentes”, (Cueto, 2015) por lo que el control difuso se convierte en el más opcional para trabajos multivariables como el presente (Pérez,2005) y por contar con la experticia que ofrece el trabajo sobre el tema a nivel nacional “Modelación de Tecnologías Solares de Refrigeración Por Sorción En Climas +”(Romero,2017), del cual se nutrirá la presente investigación de la información experimental para ser capaz de realizar un control global del sistema y llegar al objetivo de saber si gracias a un control difuso es posible disminuir el consumo de energía eléctrica.

Existe limitada información sobre el desarrollo del sistema de enfriamiento híbrido, con proyectos e investigaciones se ha dado inicio, estudiando modelos que permitan mejorar el sistema de control que gobierna el sistema automático, citando a continuación algunos estudios de importancia:

El estudio de Sphaier y Worek “Analysis of heat and mass transfer in porous sorbents used rotary regenerators” (2004), por su parte indica que, aunque muchos investigadores han presentado diferentes modelos, aún no se dispone de una única formulación que permita predecir el comportamiento de la rueda desecante y entálpica. En el mismo año Subramanyam N, (2004), “Application of desiccant wheel to control humidity in Air Conditioning Systems. Applied thermal Engineering”. Estudia la importancia del control de la humedad relativa dentro del mantenimiento de la calidad del aire, dos años más tarde Fatemeh “Modeling and simulation of desiccant Wheel for air conditioning”.(2006), desarrollan un modelo unidimensional transiente para una rueda desecante del tipo 1:1, y obtienen las soluciones del mismo para los procesos de transferencia de calor y masa, por otra parte Ormeño E, (2012), “Identificación y diseño del controlador para un sistema regulador de presión en una planta de refrigeración”, define un modelo matemático mediante el método de identificación para un sistema de refrigeración, debido a la no linealidad y dificultad de hallar ecuaciones para estos sistemas. Y como trabajo más reciente José Enrique Alonso Alfaya, (2014) con el tema “Modelado y control multivariable de un sistema de refrigeración por compresión de vapor”, realiza el modelo y control de un sistema de refrigeración por compresión de vapor de una etapa y de un solo recinto.

Metodología

Dentro de la teoría estadística, el análisis de regresión es de gran utilidad en casi todas las disciplinas científicas, y en particular en todas las especialidades de ingeniería. Se emplea para

estimar la relación existente entre variables, en la mayoría de los casos se puede determinar la ecuación que mejor representa la relación que existe entre las variables analizadas, (Carbonell, 2008). Las ecuaciones de regresión se clasifican en lineales y no lineales, la presente investigación aplica regresión no lineal.

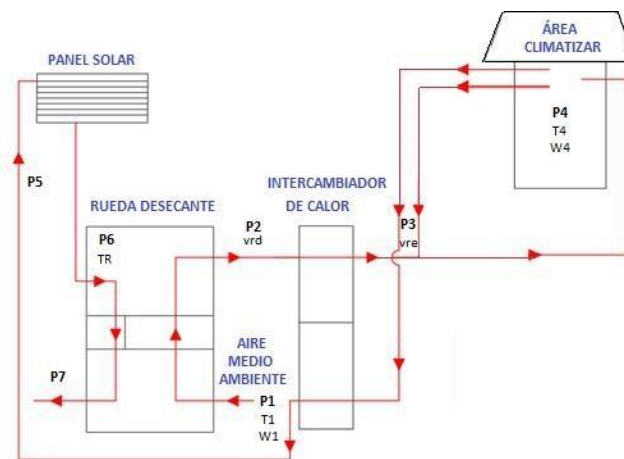
Sistema de Enfriamiento Híbrido.

Es necesario primero describir las características dinámicas del sistema de enfriamiento híbrido, (Díaz, Monteagudo, Bravo, 2015) las condiciones meteorológicas del lugar a climatizar corresponden a un clima cálido y húmedo, la temperatura ambiente diaria varía entre 24,9°C a 30,9°C, y la humedad relativa ambiente diaria varía de 73,7% a 86,7%, valores obtenidos de la estación meteorológica del “CIPCA” en la ciudad de Puyo.

De acuerdo con las condiciones ambientales de confort ASHRAE (2016) se requiere una temperatura de bulbo seco menor de 20°C y una humedad relativa menor de 60%.

El sistema de enfriamiento híbrido desarrollado por Romero J. 2013, consta de: una rueda decante, una rueda entálpica y un equipo de compresión de vapor, el estudio presente se basada en una modificación, eliminar la utilización del compresor de vapor logrando los mismos resultados, para lo cual se establece el siguiente diseño:

Figura 1. Sistema de Enfriamiento híbrido / Control Difuso



Para empezar con el proceso se toma el aire del exterior (P1) donde entra en contacto con la rueda desecante de sílica gel, que por medio de un proceso de sorción se obtiene la reducción de humedad y el aumento de la temperatura del aire (P2). El aire caliente y seco de (P2) se enfría en el intercambiador de calor, saliendo en (P3) con una temperatura más baja al punto anterior.

Inmediatamente este flujo de aire se mezcla con el flujo de aire de la condición del interior elevando la temperatura manteniendo dentro de los valores esperados de confort en (P4).

Para la regeneración de la sílica gel se toma el aire de retorno (P4) que pasa en contraflujo por el intercambiador para enfriar el aire del proceso. La salida de (P5) se emplea para alcanzar la temperatura de regeneración (P6) requerida para evaporar el agua adsorbida por la rueda desecante, en esta sección una gran cantidad de calor es emitida por el panel solar de aire y en situaciones donde el panel no avanza a cubrir la temperatura de regeneración empiezan a trabajar las niquelinas llegando así a la temperatura deseada. El aire a la entrada de la rueda desecante (P6) se encuentra a la temperatura de regeneración y pasa a través del rotor desecante siendo descargado al exterior (P7) con una temperatura menor y una humedad mayor que en (P6).

Modelación

Para poder plantear el modelo que rija el sistema como primera etapa se tiene el estudio de toda la bibliografía posible que han desarrollado trabajos relacionados con sistemas de enfriamiento, especialmente aquellos que contienen principios y aplicaciones de sistemas de enfriamiento híbridos, dentro de los estudios con mayor influencia se tiene (Wang,2010), (Romero, 2013), (Yadav & Kaushik,1990) de los cuales se analiza los mejores valores de trabajo para la rueda de sílica gel y rueda entálpica. De donde se obtiene las mejores observaciones para simular un sistema de enfriamiento híbrido.

Velocidad de rueda desecante: (Sílica Gel): De 5, 10, 15 rph.

Velocidad de rueda entálpica: De 20, 25 rpm.

Temperatura de Regeneración (Sílica Gel): De 60, 70, 80 °C.

Temperatura de confort: 20°C.

Humedad relativa: Menor de 60%.

Se ha concluido que el uso de Regresiones Múltiples es el más recomendado a utilizar, para trabajos donde se conoce los valores de cada variable, es decir cuando se cuenta con una base de datos experimental (Carbonell, 2008)

Lo primero es encontrar los exponentes de linealidad aplicando el Modelo de Magnani (Yadav & Kaushik, 1990)

Tabla 1. Tabla de potencias de linealización

Variables	Potencias para T4	Potencias para W4
T1	-0,314865	-0,893237
w1	-11,0458	5,14197
vrd	0,237415	-0,174434
TR	0,255505	-0,767358
vre	-0,152363	0,02976

Se obtiene las siguientes ecuaciones:

$$T4 = 840803, + 1354,25*T1 - 4,88577*W1 + 0,0411249*vrd - 0,289211*TR - 0,208011*vre - 153279,* \\ \ln(T1) - 1,05021E6*(T1^-$$

$$0,314868) - 5,32174E18*(W1^-11,0458) + 1,49947E19*(T1^- \\ 0,314868)*(W1^-11,0458) + 2107,61*(T1^-0,314868)*(vrd^0,237415) + \\ 2,95978E18*(W1^-11,0458)*(vrd^0,237415) + 9,90856E17*(W1^- \\ 11,0458)*(TR^0,255505) + 3,46638E18*(W1^-11,0458)*(vre^-0,152363) - \\ 246,621*(vrd^0,237415)*(TR^0,255505) - 1231,02*(vrd^0,237415)*(vre^- \\ 0,152363) - 8,7887E18*(T1^-0,314868)*(W1^-11,0458)*(vrd^0,237415) - \\ 2,78146E18*(T1^-0,314868)*(W1^-11,0458)*(TR^0,255505) - \\ 9,82025E18*(T1^-0,314868)*(W1^-11,0458)*(vre^-0,152363) - \\ 5,32883E17*(W1^-11,0458)*(vrd^0,237415)*(TR^0,255505) - \\ 1,7844E18*(W1^-11,0458)*(vrd^0,237415)*(vre^-0,152363)+ \\ 407,531*(vrd^0,237415)*(TR^0,255505)*(vre^-0,152363) + \\ 1,6457E18*(T1^-0,314868)*(W1^-11,0458)*(vrd^0,237415)*(TR^0,255505) \\ + 5,74891E18*(T1^-0,314868)*(W1^-11,0458)*(vrd^0,237415)*vre^-0,152363) - \\ 8,25155E16*(W1^- \\ 11,0458)*(vrd^0,237415)*(TR^0,255505)*(vre^-0,152363) \text{ (Ecu. 1)}$$

$$W4 = 7480,17 + 11,6119*vrd + 15,965*TR - 0,141047*vre + 0,614396*T1 \\ - 319,38*w1 + 5072,35*\ln(W1) - 731,798*\ln(vrd) - 2594,86*\ln(TR) + 8031,23*(T1^-0,893237) + \\ 0,00254631*(W1^5,14197) - 0,0565403*(T1^- \\ 0,893237)*(W1^5,14197) - 12257,6*(T1^-0,893237)*(vrd^-0,174434) - \\ 0,00473036*(W1^5,14197)*(vrd^-0,174434) - \\ 0,00482799*(W1^5,14197)*(TR^-0,767358) - \\ 0,0020285*(W1^5,14197)*(vre^0,02976) - 201520,* (vrd^- \\ 0,174434)*(TR^-0,767358) - 4299,0*(vrd^-0,174434)*(vre^0,02976) - \\ 47507,6*(TR^-0,767358)*(vre^0,02976) + 0,0844674*(T1^- \\ 0,893237)*(W1^5,14197)*(vrd^-0,174434) + 0,100984*(T1^- \\ 0,893237)*(W1^5,14197)*(TR^-0,767358) + 0,046557*(T1^-$$

$$\begin{aligned}
 &0,893237*(W1^{5,14197})*(vre^{0,02976}) + \\
 &0,0331645*(W1^{5,14197})*(vrd^{-0,174434})*(TR^{-0,767358})+ \\
 &0,00394061*(W1^{5,14197})*(vrd^{-0,174434})*(vre^{0,02976}) + \\
 &187036,* \quad (vrd^{-0,174434})*(TR^{-0,767358})*(vre^{0,02976}) - \\
 &0,150491*(T1^{-0,893237})*(W1^{5,14197})*(vrd^{-0,174434})*(TR^{-0,767358}) - \\
 &0,0694183*(T1^{-0,893237})*(W1^{5,14197})*(vrd^{-0,174434})*(vre^{0,02976}) - \\
 &0,0237276*(W1^{5,14197})*(vrd^{-0,174434})*(TR^{-0,767358})*(vre^{0,02976}) \text{ (Ecu.2)}
 \end{aligned}$$

Simulación

Como primera parte de la simulación se separar variables de entrada, salida y funciones de pertenencia:

VARIABLES DE ENTRADA: T1, W1, TR, vrd, vre. VARIABLES DE SALIDA: T4, W4

Funciones de Pertenencia:

vrd: {μMEA, μAN, μMAA} TR: {μMED, μDN, μMAD}

vre: {μMEE, μEN, μMAE} T1: {μMET, μTN, μMAT} W1: {μMEH, μHN, μMAH} T4: {μMAF, μFN, μMEF} W4: {μMAS, μSN, μMES}

Planteando el siguiente Control Difuso para T4 Y W4:

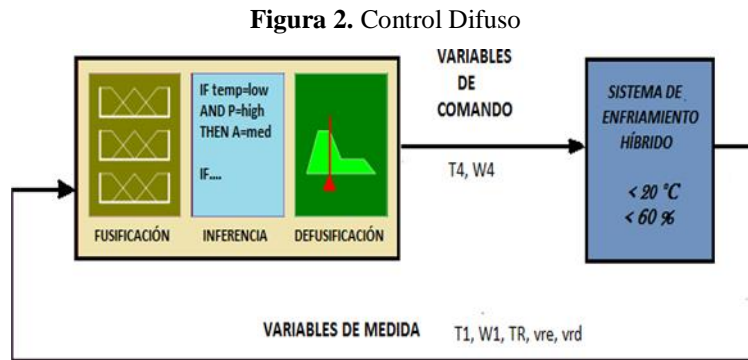


Tabla 2. Tabla de comparación valores control difuso- control manual

Resultados

Para comprobar el control se compara los valores del sistema bajo un control manual arroja con los datos aproximados resultantes de manipular las gráficas de las reglas que el control difuso entrega.

VARIACIÓN #	Valor Control Difuso			Valor Control Convencional (manual)		
	<i>Temperatura</i>	<i>Humedad Absoluta</i>	<i>Humedad Relativa</i>	<i>Temperatura</i>	<i>Humedad Absoluta</i>	<i>Humedad Relativa</i>
1	21,2	8,9	51,7	21,4	8,8	51,5
2	22	9	51,9	21,9	8,9	51,7
3	21,2	8,9	51,7	21,9	8,9	51,7
4	21,9	9	51,7	21,2	8,9	51,7
5	21,2	8,9	51,7	21,9	8,5	48,7
6	21,5	9	51,7	21,6	8,6	50,1
7	20,8	8,4	47,4	21,4	8,7	51
8	21,7	8,7	51	21,4	8,9	51,7
9	20,7	8,4	47,4	21,6	8,6	50,1
10	21,7	8,8	51,5	21,4	8,7	51
11	20,7	8,5	48,7	21,1	8,4	47,4
12	21,3	8,7	51	21,1	8,4	47,4
13	20,8	8,4	47,4	21,6	8,6	50,1
14	20,5	8,9	51,7	21,4	8,7	51
15	20,7	8,4	47,4	21,6	8,6	50,1
16	21	8,7	51	21,1	8,4	47,4
17	20,6	8,6	50,1	21,4	8,7	51
18	21,1	8,6	50,1	22,1	9,1	53,2

En la Tabla II, se observa que los valores en los dos casos estudiados son semejantes, logrando así nuestro objetivo.

Aparte del control difuso, se busca analizar el sistema de enfriamiento híbrido insertando energía solar en la sección de regeneración de sílica gel, para lo cual siguiendo el estudio de Romero J. 2013, los valores promedios medidos de la radiación solar tomados en la Regio Oriente / Puyo de Ecuador oscilan entre 4.1 y 4.8 KWh/m² y su fracción solar es de 56%. (Wang, 2010)

Tabla 3. Ahorro consumo de energía resistencia e/panel s

EQUIPO	CONSUMO ELECTRICO
Resistencias Eléctricas	3KW
Panel Solar	1.32 KW

Observando la Tabla III, el ahorro obtenido aplicando energía renovable en la sección de regeneración de sílica gel es de 1.68 KW.

Por lo que se puede concluir que al aplicar energía solar se ahorra en un 56% el consumo eléctrico en la etapa de regeneración de sílica gel, donde actualmente se encuentran trabajando las resistencias eléctricas con un consumo de 3kw, conjuntamente con el ahorro que genera la eliminación del equipo de compresión de vapor permite el siguiente análisis:

Tabla 4. Consumo eléctrico del sistema de enfriamiento híbrido

EQUIPOS	CONSUMOS SIS. CONTROL MANUAL (KW)	CONSUMO SIS. CONTROL DIFUSO (KW)
Sistema de deshumidificación	2.81	2.81
Rueda entálpica	0.09	0.09
Resistencias eléctricas / Panel solar	3	1.32
Compreso a vapor	1.5	N/A
CONSUMO ELECTRICO TOTAL	7.4 KW	4.22 KW

Teniendo un ahorro total:

$$\text{Ahorro} = 7.4 \text{ kw} - 4.22 \text{ kw} = 3.18 \text{ kw} (43 \%)$$

Para evaluar el rendimiento del sistema de enfriamiento híbrido se debe calcular el COP, tomando en cuenta que el sistema de enfriamiento híbrido - control manual planteado por Romero J, posee un COP

$$= 3,25.$$

La carga de enfriamiento del sistema híbrido - control difuso, (Q_{enf}), se calcula de acuerdo a la ecuación:

$$COP = \frac{Q_{enf}}{Q_{cal}}$$

Reemplazando valores tenemos que el COP para el Sistema de Enfriamiento Híbrido – Control Difuso es el siguiente:

$$COP = 4,7$$

Permitiendo observar un incremento en su rendimiento, manteniendo los valores de confort para temperatura y humedad.

Conclusiones

El estudio y comprensión de los subsistemas que forman parte del sistema de enfriamiento híbrido permite comprender la dinámica del mismo permitiendo concluir que se trata de un sistema MIMO es decir múltiples entradas y múltiples salidas.

Al trabajar con un sistema MIMO, el reconocimiento de un modelo matemático se complica, el análisis de cada regla que rige un sistema de refrigeración de aire cuando existen más de dos variables de entrada y salida se vuelve un problema al querer plantear un control, por lo que el aplicar el Método de Regresión Múltiple se convierte en la mejor solución para el sistema, permitiendo analizar un sistema MIMO de manera más abierta, es decir sin muchas restricciones de conocimiento de reglas físico-térmicas, logrando buenos resultados en el control de las variables de interés.

Cuando existen sistemas con alta complejidad para encontrar su estabilidad de manera matemática, la mejor opción es partir de datos experimental de sistemas equivalentes al que se desee estudiar, lo que permite contar con bases para su comparación y validación.

Un control difuso para un sistema de enfriamiento híbrido, permite hacer un análisis del comportamiento de cada subsistema e ir modificando valores de ingreso para observar su comportamiento en las variables deseadas, reduciendo así la etapa de compresión de vapor que hasta ahora se tomaba en cuenta para un sistema de enfriamiento híbrido controlado de manera manual, lo cual se refleja en la reducción de 20,27 % de consumo energético, control que se implementó en el software SCILAB 5.5.2, con el uso del Fuzzy Logic Toolbox 0.4.7.

Al rendimiento ser inversamente proporcional a la energía consumida, aplicando el control difuso se logra reducir el consumo de energía, provocando de esta manera el aumentando del rendimiento del sistema, por lo que el sistema de enfriamiento híbrido - control manual, posee un COP = 3,25, mientras que en el sistema con control difuso estudiado genera un COP = 4,7 obteniendo un notorio crecimiento en la eficiencia del sistema.

Sobre la ganancia que ya genera el ocupar un sistema de enfriamiento híbrido existe mejora adicional a su aplicación cuando se incluye energía solar en el subsistema de deshumidificación, esto quiere decir que en el proceso de desorción se puede eliminar el consumo de resistencias eléctricas para el secado de la sílica gel, ahorrando 1.68 KW, solo en la etapa de regeneración.

Al agrupar sistemas de deshumidificación, enfriamiento y sistema de compresión a vapor se logra obtener un sistema de mayor rendimiento que la aplicación individual de cualquier de estos, pero una vez aplicado un control difuso al mismo sistema es posible obtener valores óptimos de las variables de temperatura y humedad a más de una eficiencia energética, lo cual demuestra que la simulación de un buen control permite mejorar el comportamiento de un sistema por complejo que parezca, logrando obtener un ahorro total de 43%.

Referencias

1. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2017). Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy: ANSI/ASHRAE Standard 55-2017 (Supersedes ANSI/ASHRAE Standard 55-2013) Includes ANSI/ASHRAE Addenda Listed in Appendix N. ASHRAE.
2. Carbonell, T., & MARTÍNEZ, J. A. Y. O. (2008). Modelación de la operación de ruedas desecantes razón 3: 1 con sílica gel en climas tropicales. Proceeding del IV Seminario Euro Latinoamericano de Sistemas de Ingeniería IV SELASI.
3. Cueto, P. Q. (2015). Mathematical tools for Hesitant Sets. Applications (Doctoral dissertation, Universidad de Oviedo).
4. Díaz Torres, Y., Monteagudo Yanes, J. P., & Bravo Hidalgo, D. (2015). Análisis energético de un sistema híbrido de producción de frío. Ingeniería energética, 36(1), 38-49.

5. Nia, F. E., Van Paassen, D., & Saidi, M. H. (2006). Modeling and simulation of desiccant wheel for air conditioning. *Energy and buildings*, 38(10), 1230-1239.
6. Pérez Pueyo, R. (2005). Procesado y optimización de espectros Raman mediante técnicas de lógica difusa: aplicación a la identificación de materiales pictóricos. Universitat Politècnica de Catalunya.
7. Romero, J. A. (2017). Modelación de tecnologías de refrigeración solar por sorción en climas cálidos y húmedos. Editorial Universitaria.
8. Romero Paguay, J. A., & Carbonell Morales, T. (2014). Sistema de refrigeración solar por absorción para la comunidad de Kumay en Ecuador. *Ingeniería Energética*, 35(3), 286-294.
9. Sheng, Y., Zhang, Y., Sun, Y., Fang, L., Nie, J., & Ma, L. (2014). Experimental analysis and regression prediction of desiccant wheel behavior in high temperature heat pump and desiccant wheel air-conditioning system. *Energy and buildings*, 80, 358-365.
10. Sphaier, L. A., & Worek, W. M. (2004). Analysis of heat and mass transfer in porous sorbents used in rotary regenerators. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 47(14-16), 3415-3430.
11. Subramanyam, N., Maiya, M. P., & Murthy, S. S. (2004). Application of desiccant wheel to control humidity in air-conditioning systems. *Applied thermal engineering*, 24(17-18), 2777-2788.
12. Wang, R. Z., Ge, T. S., Chen, C. J., Ma, Q., & Xiong, Z. Q. (2009). Solar sorption cooling systems for residential applications: Options and guidelines. *International Journal of refrigeration*, 32(4), 638-660.
13. Yadav, Y. K., & Kaushik, S. C. (1991). Psychometric techno-economic assessment and parametric studies of vapor-compression and solid/liquid desiccant hybrid solar space conditioning systems. *Heat Recovery Systems and CHP*, 11(6), 563-572.

References

1. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2017). Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy: ANSI / ASHRAE Standard 55-2017 (Supersedes ANSI / ASHRAE Standard 55-2013) Includes ANSI / ASHRAE Addenda Listed in Appendix N. ASHRAE.

2. Carbonell, T., & MARTÍNEZ, J. A. Y. O. (2008). Modeling the operation of desiccant wheels 3: 1 ratio with silica gel in tropical climates. Proceeding of the IV Euro Latin American Seminar on Engineering Systems IV SELASI.
3. Cueto, P. Q. (2015). Mathematical tools for Hesitant Sets. Applications (Doctoral dissertation, University of Oviedo).
4. Díaz Torres, Y., Monteagudo Yanes, J. P., & Bravo Hidalgo, D. (2015). Energy analysis of a hybrid cold production system. *Energy Engineering*, 36 (1), 38-49.
5. Nia, F. E., Van Paassen, D., & Saidi, M. H. (2006). Modeling and simulation of desiccant wheel for air conditioning. *Energy and buildings*, 38 (10), 1230-1239.
6. Pérez Pueyo, R. (2005). Processing and optimization of Raman spectra using fuzzy logic techniques: application to the identification of pictorial materials. Universitat Politècnica de Catalunya.
7. Romero, J. A. (2017). Modeling of solar cooling technologies by sorption in hot and humid climates. University Publishing House.
8. Romero Paguay, J. A., & Carbonell Morales, T. (2014). Absorption solar refrigeration system for the Kumay community in Ecuador. *Energy Engineering*, 35 (3), 286-294.
9. Sheng, Y., Zhang, Y., Sun, Y., Fang, L., Nie, J., & Ma, L. (2014). Experimental analysis and regression prediction of desiccant wheel behavior in high temperature heat pump and desiccant wheel air-conditioning system. *Energy and buildings*, 80, 358-365.
10. Sphaier, L. A., & Worek, W. M. (2004). Analysis of heat and mass transfer in porous sorbents used in rotary regenerators. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 47 (14-16), 3415-3430.
11. Subramanyam, N., Maiya, M. P., & Murthy, S. S. (2004). Application of desiccant wheel to control humidity in air-conditioning systems. *Applied thermal engineering*, 24 (17-18), 2777-2788.
12. Wang, R. Z., Ge, T. S., Chen, C. J., Ma, Q., & Xiong, Z. Q. (2009). Solar surprise cooling systems for residential applications: Options and guidelines. *International Journal of refrigeration*, 32 (4), 638-660.
13. Yadav, Y. K., & Kaushik, S. C. (1991). Psychometric techno-economic assessment and parametric studies of vapor-compression and solid / liquid desiccant hybrid solar space conditioning systems. *Heat Recovery Systems and CHP*, 11 (6), 563-572.

Referências

1. Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado. (2017). Condições ambientais térmicas para ocupação humana: Padrão ANSI / ASHRAE 55-2017 (Substitui o padrão ANSI / ASHRAE 55-2013) Inclui os aditivos ANSI / ASHRAE listados no Apêndice N. ASHRAE.
2. Carbonell, T. & MARTÍNEZ, J. A. Y. O. (2008). Modelagem da operação de rodas dessecantes na proporção de 3: 1 com sílica gel em climas tropicais. Processo do IV Seminário Euro-Latino-Americano de Sistemas de Engenharia IV SELASI.
3. Cueto, P. Q. (2015). Ferramentas matemáticas para conjuntos hesitantes. Aplicações (tese de doutorado, Universidade de Oviedo).
4. Díaz Torres, Y., Monteagudo Yanes, J.P. e Bravo Hidalgo, D. (2015). Análise energética de um sistema híbrido de produção a frio. Engenharia de energia, 36 (1), 38-49.
5. Nia, F.E., Van Paassen, D., & Saidi, M.H. (2006). Modelagem e simulação de roda dessecante para ar condicionado. Energia e edifícios, 38 (10), 1230-1239.
6. Pérez Pueyo, R. (2005). Processamento e otimização de espectros Raman utilizando técnicas de lógica nebulosa: aplicação na identificação de materiais pictóricos. Universidade Politécnica da Catalunha.
7. Romero, J. A. (2017). Modelagem de tecnologias de refrigeração solar por sorção em climas quentes e úmidos. Editora da Universidade.
8. Romero Paguay, J. A. e Carbonell Morales, T. (2014). Sistema de refrigeração solar por absorção para a comunidade Kumay no Equador. Engenharia de Energia, 35 (3), 286-294.
9. Sheng, Y., Zhang, Y., Sun, Y., Fang, L., Nie, J., & Ma, L. (2014). Análise experimental e predição de regressão do comportamento da roda dessecante em sistemas de ar condicionado com bomba de calor de alta temperatura e roda dessecante. Energia e edifícios, 80, 358-365.
10. Sphaier, L. A. & Worek, W. M. (2004). Análise da transferência de calor e massa em sorventes porosos utilizados em regeneradores rotativos. International Journal of Heat and Mass Transfer, 47 (14-16), 3415-3430.

11. Subramanyam, N., Maiya, M.P. & Murthy, S. S. (2004). Aplicação de roda dessecante no controle de umidade em sistemas de ar condicionado. *Engenharia térmica aplicada*, 24 (17-18), 2777-2788.
12. Wang, R.Z., Ge, T.S., Chen, C.J., Ma, Q., & Xiong, Z. Q. (2009). Sistemas de refrigeração solar sorpresa para aplicações residenciais: Opções e diretrizes. *International Journal of Refrigeration*, 32 (4), 638-660.
13. Yadav, Y. K. & Kaushik, S. C. (1991). Avaliação tecnoeconômica psicométrica e estudos paramétricos de sistemas híbridos de condicionamento de espaço solar híbrido por compressão e dessecante sólido / líquido. *Sistemas de Recuperação de Calor e CHP*, 11 (6), 563-572.

©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/>).