

Sistema de enfriamiento desecante sólido para clima cálido y húmedo.

José Romero Paguay¹, Tania Carbonell Morales², Verena Torres¹, Juan González Rivera¹, Santiago Romero Pazmiño³, Víctor González Rivera⁴

¹Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Ecuador

²Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría

³Escuela Superior Politécnica Nacional

⁴Universidad Central del Ecuador

e-mail: jo_ser_2008@hotmail.es

Resumen

El enfriamiento desecante sólido como complemento a la refrigeración mediante la compresión de vapor convencional de aire acondicionado ha sido estudiado para un clima cálido y húmedo típico de la Amazonía Ecuatoriana. Un sistema de enfriamiento desecante sólido para el laboratorio Ecuamz del Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica de la Universidad Estatal Amazónica con capacidad de refrigeración de 10,2 kW ha sido desarrollado experimentalmente en un proyecto de estudio para el período de climatización de Febrero a Abril del 2016. Las influencias de las condiciones ambientales: humedad y temperatura; con relación al coeficiente de rendimiento del sistema de refrigeración han sido evaluados. Las variaciones en el coeficiente de rendimiento se han obtenido a temperaturas de regeneración de 100°C y 120°C; a velocidades de rotación de la rueda de sílica gel de 5, 10 y 15 rph; y a velocidades de rotación de la rueda entálpica de 20 y 25 rpm. Los resultados experimentales demuestran la conveniencia de este tipo de sistemas para la climatización de edificios en climas cálidos y húmedos.

Palabras clave: desecante sólido, coeficiente de rendimiento, rueda desecante, rueda entálpica.

Abstract

The solid desiccant cooling to supplement the cooling by conventional vapor compression air conditioning has been studied for typical hot and humid climate of the Ecuadorian Amazon. A solid desiccant cooling system for Ecuamz Laboratory of Research Center, Graduate and Amazon Conservation of the Amazon State University with cooling capacity of 10,2 kW, has been experimentally developed in a study project for the period air conditioning from February to April 2016. The influences of environmental conditions: temperature and humidity; relative to the coefficient of performance of the cooling system have been evaluated. Variations in the coefficient of performance have been obtained at temperatures of regeneration 100°C and 120°C; at speeds of rotation of the wheel silica gel of 5, 10 and 15 rph; and a rotation speeds heat exchanger 20 and 25 rpm. Experimental results demonstrate the suitability of this type of air conditioning systems for buildings in hot and humid climates.

Keywords: solid desiccant, coefficient of performance, desiccant wheel, enthalpy wheel

Introducción

En edificaciones como: aeropuertos, museos, salones de actos, etc; situados en climas húmedos o climas tropicales, donde existen altas ganancias internas, se produce un incremento indeseado de humedad. Además la respiración de las personas y la evaporación del sudor de la piel, aumentan la carga latente. En estas condiciones, el control solo de la temperatura no va a permitir que se alcancen las condiciones de confort, siendo fundamental el control de la humedad. En los espacios ocupados donde los niveles de

humedad son importantes, los sistemas de aire acondicionado convencionales sin control de humedad pueden tener un elevado consumo de energía y no garantizan el confort térmico.

Para solucionar este inconveniente, es muy interesante el desarrollo de sistemas que controlen la carga sensible y latente de las zonas por separado; especialmente en climas húmedos y con ganancias internas elevadas. Una alternativa para controlar la carga sensible y latente es el empleo de materiales desecantes, que son sustancias higroscópicas capaces

de atraer la humedad del aire, estos desecantes pueden ser líquidos o sólidos. En el presente estudio se centra en el desecante sólido.

El desecante sólido se puede incluir en una unidad de tratamiento de aire, la forma más común que tiene este desecante es de un rotor cilíndrico; a este tipo de sistema se le conoce como sistema de enfriamiento desecante sólido. Así, el aire exterior pasa por la rueda desecante la misma que se deshumecta y se calienta debido a que en el proceso de sorción se libera una energía denominada calor de adsorción. Siendo el objetivo refrigerar, existen otros dispositivos en la unidad de tratamiento de aire capaces de disminuir la temperatura del aire y llevarlas a las condiciones de impulsión requeridas como son: una rueda entálpica, una batería de frío o los enfriadores evaporativos. La regeneración en la rueda desecante se lleva a cabo con aire caliente en el rango de 100 a 200°C, proporcionado por un sistema de calentamiento eléctrico: el sistema de este tipo se conoce como sistema de enfriamiento con desecante sólido, según Pesaran et al. (1993).

Tawewkun y Akvanich (2013) han diseñado un sistema de deshumidificación de desecante sólido aplicable a climas tropicales, para reducir la carga latente del sistema de refrigera-

ción del aire y para mejorar el confort térmico.

El modelo de acondicionamiento de aire basado en desecante sólido fue desarrollado y experimentalmente validado por una investigación del rendimiento y una evaluación de la influencia de parámetros como las condiciones del clima, carga de enfriamiento, tasa de flujo de aire y temperatura de regeneración, según Panaras et al. (2010).

Khoukhi (2013), ha estudiado la factibilidad del sistema de enfriamiento desecante como una alternativa al enfriamiento de compresión de vapor convencional para alcanzar el confort térmico para la refrigeración de edificaciones en climas húmedos y cálidos.

Basado en la literatura de estudio, se ha encontrado que estudios muy limitados han llevado a cabo la simulación transitoria del sistema de acondicionamiento de aire de compresión de vapor y desecante sólido para zonas climáticas húmedas y cálidas que tienen una humedad relativa en el rango de 70% al 85%. Lo cual constituye la primera motivación detrás de la realización del presente estudio. El sistema de acondicionamiento de aire de compresión de vapor y desecante

sólido ha sido estudiado para climas húmedos y cálidos. En el presente estudio, se modela el sistema de acondicionamiento de aire, el cual es actualmente una integración del deshumificador desecante sólido rotativo de sílica gel, una rueda entálpica, y la unidad de acondicionamiento de aire de compresión de vapor tradicional. El sistema completo ha sido modelado para un laboratorio del Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica de la Universidad Estatal Amazónica (12m x 7m x 2,7m) que tiene una carga de refrigeración de 10,2 kW. Los resultados experimentales muestran el rendimiento del sistema durante los meses de febrero, marzo y abril del año 2016 en un clima húmedo y caliente de la Amazonía Ecuatoriana (Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica de la Universidad Estatal Amazónica, Santa Clara-Napo). Los efectos de la variación en importantes parámetros como: la temperatura y humedad ambiental, la temperatura de regeneración, las velocidades de rotación de la rueda de sílica gel y la rueda entálpica, en el rendimiento del sistema han sido discutidos. La eficiencia en la deshumidificación y en la rueda entálpica, la temperatura y la humedad de enfriamiento, la temperatura y humedad en el

laboratorio, la potencia de enfriamiento y calentamiento; también han sido discutidas.

Nomenclatura:

COP	coeficiente de eficiencia
C_p	calor específico del aire a presión constante (kJ/kg/°C)
DBT	temperatura de bulbo seco (°C)
h	entalpía específica (kJ/kg)
m_p	relación de flujo de masa de aire en proceso (kg/s)
m_r	relación de flujo de masa de aire en reactivación (kg/s)
QR	calor de regeneración
RH	humedad relativa
T	temperatura (°C)
VCR	refrigeración por compresión de vapor
W_c	potencia del compresor (kW)
E	eficiencia
ω	relación de humedad (g/kg)
RD	rueda desecante
RE	rueda entálpica

Procedimiento experimental

El sistema de enfriamiento desecante sólido de la figura 1, muestra las dos ramas de tratamiento de aire: la rama de proceso y la rama de regeneración. En la rama de proceso se toma el aire del exterior (1) que tiene un flujo de 600 m³/h y entra en contacto con la rueda desecante de sílica gel, que mediante un proceso de

sorción provoca la disminución de humedad y el aumento de la temperatura del aire. El aire caliente y seco (2) se enfría en la rueda entálpica, saliendo en las condiciones indicadas en (3). Inmediatamente este flujo de aire en la condición (3) de $600 \text{ m}^3/\text{h}$ se mezcla con el flujo de aire de la condición (6) de $1600 \text{ m}^3/\text{h}$ que retorna del laboratorio y entra en la condición (4) con $2200 \text{ m}^3/\text{h}$ que pasa por un sistema de enfriamiento que disminuye la temperatura del aire pero aumenta la humedad relativa pasando por el evaporador, hasta llevarlo a las condiciones dadas en el punto (5) donde se ingresa el aire al laboratorio. En la rama de regeneración se toma el aire de retorno (6) con un flujo de aire

de $600 \text{ m}^3/\text{h}$ que pasa en contraflujo por la rueda entálpica para enfriar el aire de proceso. A la salida (7) el aire tiene un flujo de $600 \text{ m}^3/\text{h}$, se emplea únicamente un flujo de aire de $200 \text{ m}^3/\text{h}$ en (8) el mismo que es necesario que se caliente en la fuente de calor y alcance la temperatura de regeneración requerida para evaporar el agua adsorbida por la rueda desecante que tiene una relación de área de $75:25$. El aire a la entrada de la rueda desecante (9) se encuentra a la temperatura de regeneración y pasa a través del rotor desecante siendo descargado al exterior (10) con una temperatura menor y una humedad mayor que en (9).

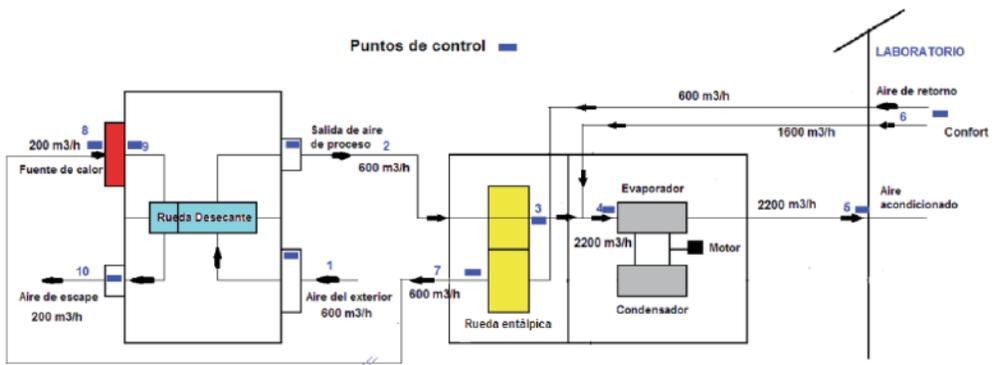


Figura 1. Sistema de enfriamiento desecante sólido y compresión de vapor

Fuente: Autores

Modelación del sistema

El laboratorio de Ecuamz del Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica de la Universidad Estatal Amazónica con un número de 5 personas que trabajan en el laboratorio ha sido seleccionado para el modelamiento del sistema de enfriamiento desecante sólido y compresión de vapor. El resultado de la carga térmica para este laboratorio, muestra que la carga de refrigeración sensible y la carga de refrigeración latente fueron de 7,4 kW y 2,8 kW, respectivamente. Las condiciones de confort en el interior del laboratorio asumidas son de 20°C DBT y 60% RH. Las condiciones de operación del sistema corresponden a 9 horas de trabajo diarias durante toda la semana desde las 07h30 hasta las 16h30. Las condiciones ambientales externas promedio durante el período de febrero a marzo del 2016 fueron medidas para el presente estudio, que corresponden a 29,4°C DBT Y 78,03% RH.

El sistema de acondicionamiento de aire combina el sistema de deshumidificación desecante sólido con el sistema de acondicionamiento de aire de compresión de vapor convencional. Se emplea la operación en el modo de recirculación para el enfriamiento de la rueda entálpica y posteriormente utilizarlo como flujo de aire para la

regeneración de la rueda de sílica gel, mejorando su eficiencia energética. El sistema de climatización puede controlar efectivamente la humedad por separado empleando el deshumidificador desecante sólido de sílica gel. El flujo de aire de proceso y de regeneración es de 0,190 kg/s y 0,063 kg/s, respectivamente.

La rueda de sílica gel es de tipo horizontal (PROFLUTE) y tiene una dimensión de 350 mm de diámetro y una profundidad de 200 mm, tiene dos motores uno de aire de proceso y otro de aire de reactivación de 370 W y de 250 W, respectivamente; para la deshumidificación consta de dos ventiladores de aire de proceso y de regeneración de 550W y de 250 W, respectivamente.

El intercambiador de calor rotatorio tiene un diámetro de 600 mm y una profundidad de 200 mm, con un motor de 350 W.

La unidad de enfriamiento de compresión de vapor tiene una potencia de 5 toneladas de refrigeración (TR).

La efectividad de la deshumidificación en la rueda desecante de sílica gel (Ed) está dada en la ecuación 1, según Zuraini Mohd

et al. (2013), Jani *et al.* (2015), y Bellemo *et al.* (2013).

$$E_d = (\omega_1 - \omega_2) / \omega_1$$

Dónde:

ω_1 : Humedad absoluta del aire a la entrada de la rueda desecante.

ω_2 : Humedad absoluta del aire a la salida de la rueda desecante.

La eficiencia de la rueda desecante (DCOP) o el coeficiente de desempeño se puede obtener a partir de la ecuación 2.

$$DCOP = (M_p(T_2 - T_1)) / (M_R(T_R - T_1))$$

Dónde:

M_p : Flujo másico del aire de proceso

M_R : Flujo másico del aire de regeneración

T_2 : Temperatura del aire de proceso a la salida de la rueda desecante

T_1 : Temperatura del aire de proceso a la entrada de la rueda desecante

T_R : Temperatura del aire de regeneración de la rueda desecante

Para la rueda entálpica, su eficiencia (E_{RE}), se calcula por la ecuación 3.

$$E_{RE} = (M_p(H_2 - H_3)) / (M_E(H_2 - H_6))$$

Dónde:

M_p : Flujo másico del aire de proceso a la salida de la rueda desecante

M_E : Flujo másico del aire de enfriamiento en la rueda entálpica

H_2 : Entalpía del aire de proceso a la salida de la rueda desecante

H_3 : Entalpía aire a la salida de la rueda entálpica.

H_6 : Entalpía del aire de enfriamiento a la entrada de la rueda entálpica.

La carga de enfriamiento del sistema híbrido (Q_{enf}), se calcula de acuerdo a la ecuación 4.

$$Q_{enf} = M_T(H_1 - H_5)$$

Dónde:

M_T : Flujo másico del aire total de enfriamiento.

H_1 : Entalpía del aire de proceso a la entrada de la rueda desecante

H_5 : Entalpía del aire de enfriamiento a la entrada del laboratorio

La carga de calentamiento del sistema híbrido (Q_{cal}), se calcula según la ecuación 5.

$$Q_{cal} = M_R(H_9 - H_8) + W_T$$

Dónde:

M_R : Flujo másico del aire de regeneración

H_9 : Entalpía del aire de regeneración

H_s: Entalpía del aire a la entrada del sistema de calentamiento

W_T: Potencia total de los equipos eléctricos

El rendimiento del sistema de enfriamiento (COP), se calcula de acuerdo a la ecuación 6.

$$\text{COP} = Q_{\text{enf}} / Q_{\text{cal}}$$

El deshumidificador desecante rotatorio de sílica gel es un dispositivo el cual remueve la humedad del aire húmedo sin refrigerar el aire por debajo de su punto de rocío; se basa en la capacidad de la adsorción higroscópica del agua sobre su superficie. En este proceso de adsorción una fina capa de moléculas de vapor de agua se adhiere a la

superficie del sustrato del material desecante, el material desecante comienza a saturarse con agua y tiene que ser regenerado a través del proceso de secado.

De acuerdo a la figura 2, una porción del área total del deshumidificador (25%) es regenerada por la corriente de aire de regeneración caliente, mientras que la porción sobrante (75%) adsorbe el vapor de agua desde la corriente de aire del proceso. La temperatura de regeneración es un parámetro importante que influye en la eficiencia de la rueda desecante en términos de la capacidad de disminución de humedad.

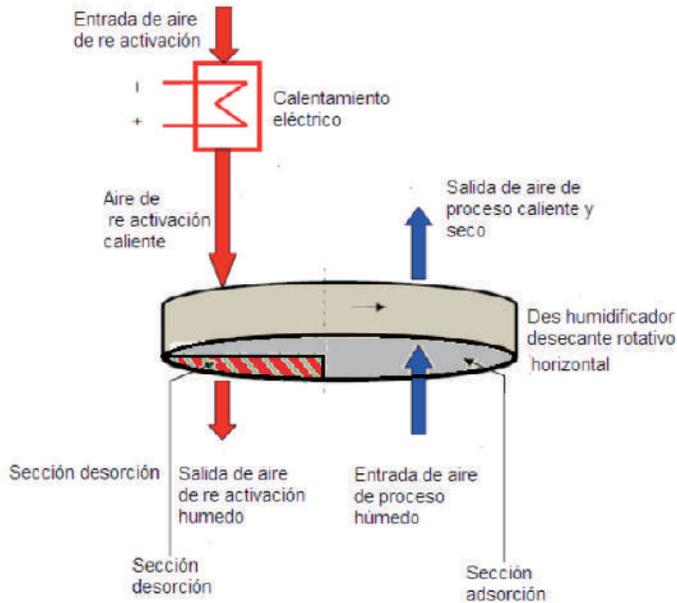


Figura 2. Diseño de la rueda desecante de sílica gel
Fuente: Autores
Diseño Experimental

Para el diseño experimental se realiza de acuerdo a Montgomery (1991), los parámetros de operación que tienen mayor influencia en el desempeño de la rueda desecante, elemento considerado como el más importante de estos sistemas son:

1. Velocidad de rotación de la rueda desecante.
2. Temperatura del aire de regeneración de la rueda desecante .
3. Temperatura del aire a la entrada de

la rueda (aire de proceso).

4. Humedad relativa del aire de proceso.

En el caso de la rueda entálpica:

5. Velocidad de rotación de la rueda entálpica.

El estudio experimental se realizó durante el período de febrero - abril del 2016 (84 días), y la variación de temperatura y humedad relativa del aire a procesar se muestra en la figura 3.

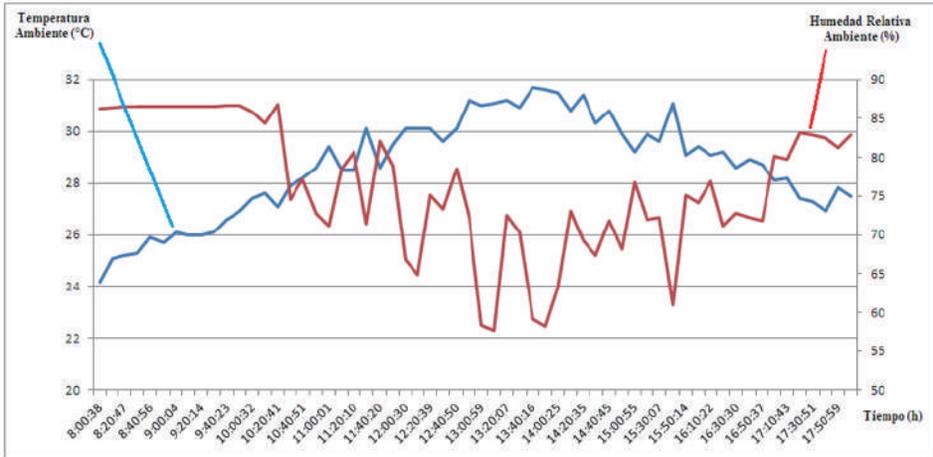


Figura 3. Variación de la temperatura y humedad relativa del aire a procesar
Fuente: Autores

La instalación experimental cuenta con el software SITRAD para el control del sistema con un total de 10 puntos de control, para lo cual se tiene 9 controladores de temperatura y humedad C/S ondas full gauge MT-530 super, y 1 controlador de temperatura frío/calor de tres salidas full gauge MT-543 RI Plus SITRAD.

Diseño Factorial en bloque al azar

Los factores a estudiar serán: Velocidad rueda con 3 niveles, Tem-

peratura con 2 niveles y Velocidad de la rueda entálpica con 2 niveles. Se utilizarán 7 réplicas en el tiempo para un total de 84 observaciones. El procesamiento se realizará a través de un diseño de bloques al azar en arreglo factorial $3 \times 2 \times 2$.

Esto significa que se aplican los 12 tratamientos de forma diaria consecutiva y las réplicas estarán organizadas en el tiempo de 12 días, con los tratamientos aleatorizados dentro de cada réplica.

El esquema de tratamientos se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Esquema de los tratamientos		
Velocidad de la rueda de secante (rph)	Temperatura de regeneración (oC)	Velocidad de la rueda entálpica (rpm)
5	100	20
		25
	120	20
		25
10	100	20
		25
	120	20
		25
15	100	20
		25
	120	20
		25

Fuente: Autores

Las figuras 4 y 5 muestran la influencia de los parámetros de operación medidos en la temperatura y humedad en el laboratorio objeto de estudio, siendo los primeros resultados obtenidos del estudio experimental.

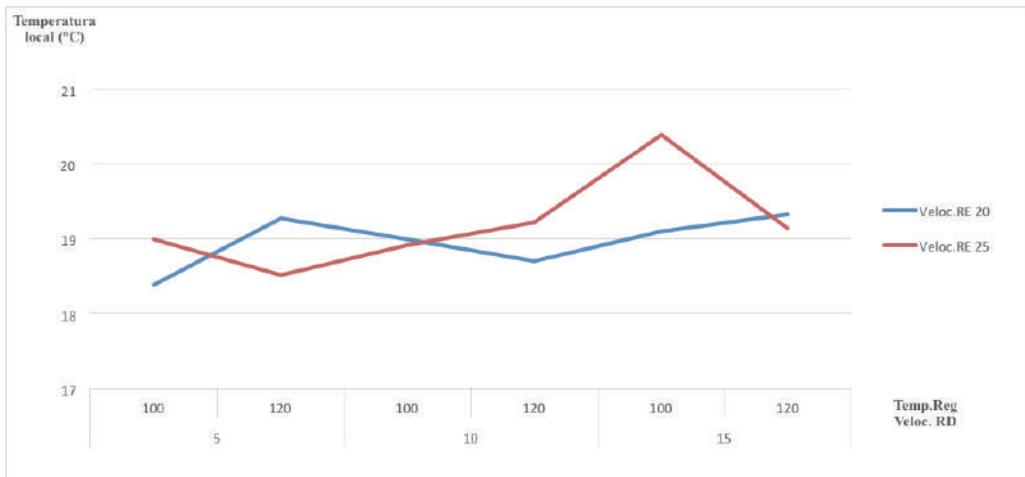


Figura 4. Influencia de los parámetros TR, rph, rpm vs Temperatura en el local.

Fuente: Autores

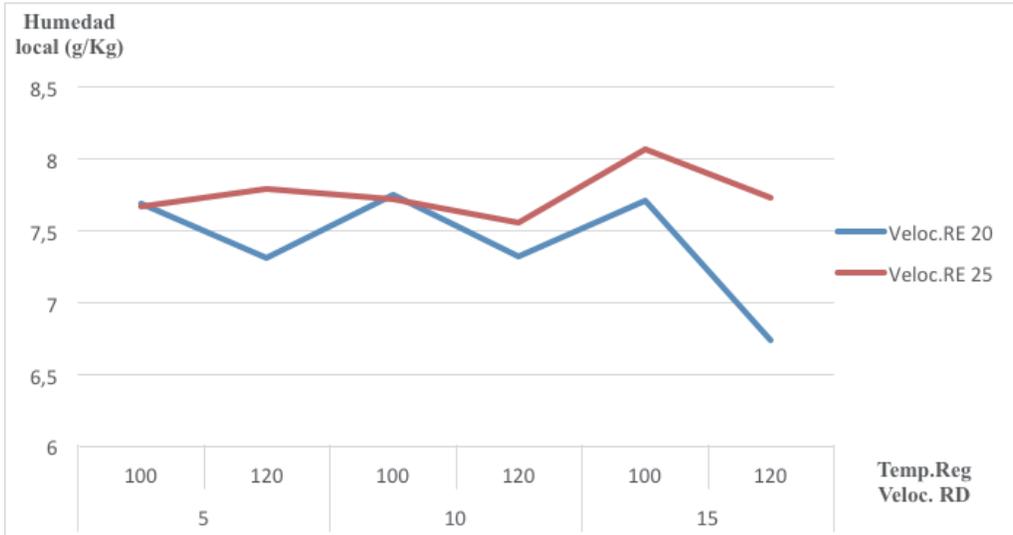


Figura 5. Influencia de los parámetros TR, rph, y rpm sobre la Humedad absoluta del aire en el laboratorio
Fuente: Autores

La variación de la efectividad de la deshumidificación y la eficiencia de la rueda desecante (DCOP) o el coeficiente de desempeño en la rueda desecante de sílica gel con respecto a la variación de TR y rph se pueden apreciar en las figuras 6 y 7, respectivamente.

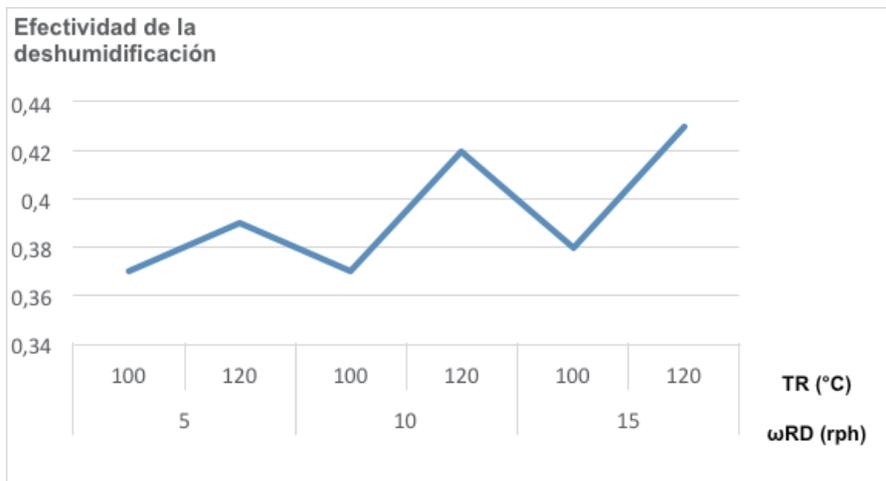


Figura 6. Efectividad de la deshumidificación de la rueda desecante vs TR y rph
Fuente: Autores

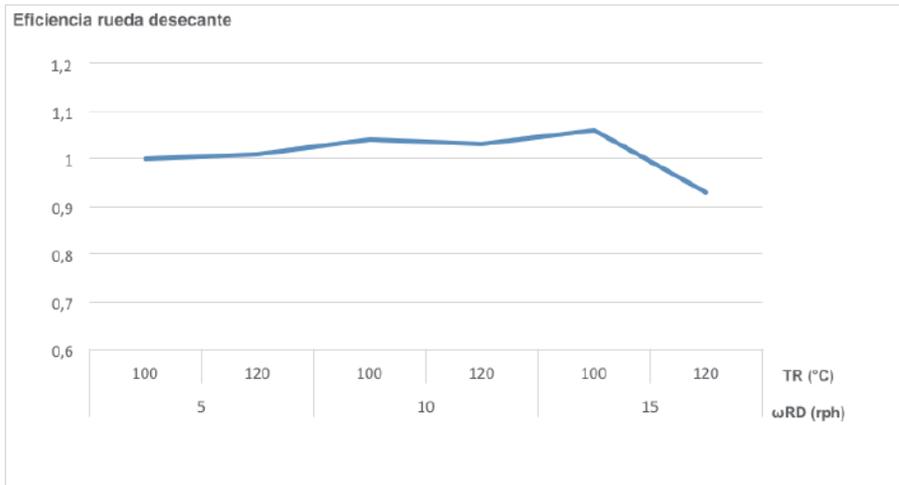


Figura 7. Influencia de los parámetros TR y rph sobre la eficiencia de la rueda desecante.

Fuente: Autores

La variación de la eficiencia de la rueda entálpica respecto a la variación de TR, rph, y rpm se pueden apreciar en la figura 8.

La figura 9 muestra en la carta psicrométrica todos los procesos a los que es sometido el aire en la instalación objeto de estudio.

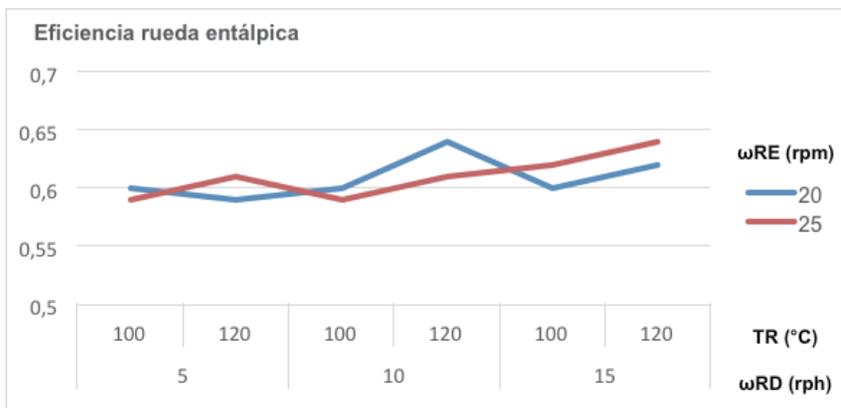


Figura 8. Influencia de los parámetros TR, rph, rpm sobre la eficiencia de la rueda entálpica

Fuente: Autores

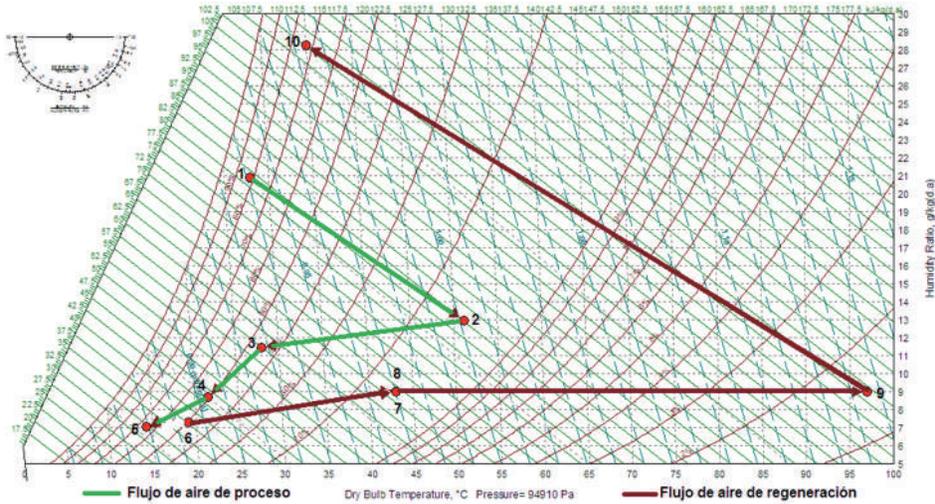


Figura 9. Representación en el diagrama psicrométrico de los procesos del flujo de aire a climatizar

Fuente: Autores

Jia et al (2006), también ha llevado a cabo experimentos en un sistema de acondicionamiento de aire desecante híbrido que es la integración de una deshumidificación desecante giratoria y una unidad de acondicionamiento de aire por compresión de vapor.

Resultados y discusión

Las figuras 10 y 11 muestran los resultados experimentales que se ejecuta en términos de temperatura y de humedad relativa para el tiempo de enfriamiento seleccionado. Estos resultados incluyen la temperatura y la humedad del proceso así como los flujos de aire de regeneración en función del tiempo.

La figura 10 muestra la variación de temperaturas importantes ($^{\circ}\text{C}$) del sistema de acondicionamiento de aire de compresión de vapor y desecante sólido frente al tiempo. La temperatura del aire del ambiente, la temperatura del laboratorio, la temperatura de salida del aire del proceso, la temperatura del aire de suministro del laboratorio, la temperatura de entrada del aire de regeneración y la temperatura de salida del aire de regeneración. Se observa que la temperatura de regeneración del aire en la entrada es alrededor de 97°C . La temperatura de regeneración es una de las temperaturas importantes que tienen un rol principal en los cambios del rendimiento general del sistema.

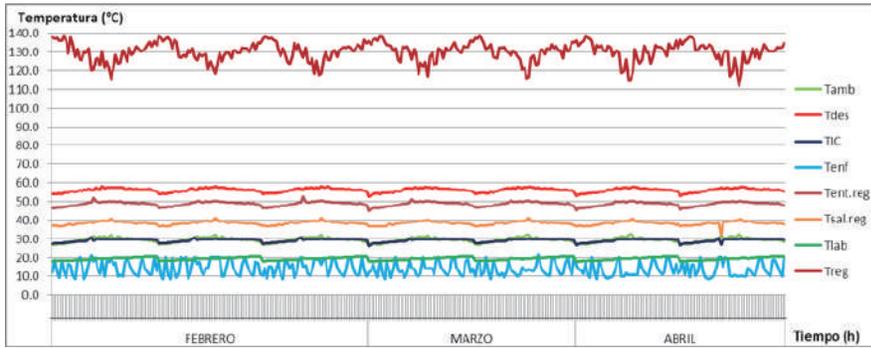


Figura 10. Variación de la temperatura con relación al tiempo del estudio experimental

Fuente: Autores

La figura 11 muestra la variación en la humedad relativa en diferentes lugares del sistema de acondicionamiento de aire de compresión de vapor y desecante sólido frente al tiempo. La humedad del aire del ambiente, la humedad del aire del laboratorio, la humedad de salida del aire del proceso, la humedad del aire de suministro del cuarto y la humedad del aire de regeneración. Hay una

elevada reducción en la humedad del aire del proceso al pasar a través el deshumidificador desecante si se considera este comportamiento. La humedad es el principal parámetro que indica la eliminación de la humedad del aire del laboratorio en términos de calor latente para obtener las condiciones de confort deseadas en el interior de la habitación.

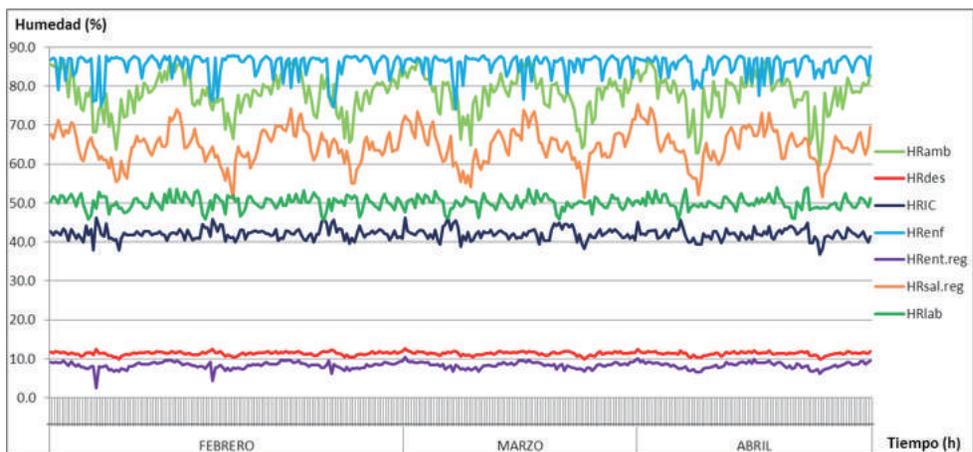


Figura 11. Variación de la humedad relativa con relación al tiempo del estudio experimental

Fuente: Autores

El comportamiento global del sistema en términos de temperatura del bulbo seco ($^{\circ}\text{C}$) y la humedad relativa del aire (%) en diferentes puntos de estado en el ciclo se presenta en la Tabla 2.

El aire de reactivación se calienta a una temperatura más alta para realizar la extracción de la humedad por el sorbente en la rueda desecante. Por consiguiente, con el aumento de la relación de humedad del aire del proceso en la entrada, la

rueda desecante elimina una mayor cantidad de vapor de agua, lo que resulta en el aumento de la temperatura del aire del proceso en la salida y finalmente resulta en un aumento de la capacidad total de enfriamiento. Esto hace que el coeficiente de rendimiento del sistema aumente a relaciones de flujo inferiores. Esto significa que el efecto de enfriamiento producido es mayor que los incrementos de la energía de entrada para calentar el aire de regeneración.

Tabla 2. Temperatura y humedad absoluta del aire en los diferentes puntos de estado en el ciclo

Punto de estado	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Humedad relativa (%)
1	27,9	81,9
2	51,2	14,8
3	28,0	45,1
4	21,6	50,5
5	14,2	65,2
6	19,1	49,6
7	43,1	15,6
8	43,1	15,6
9	97,0	1,48
10	35,0	72,9

Fuente: Autores

De las figuras anteriores se puede apreciar que el caso de la rueda desecante, los mejores resultados se obtienen para valores de 15 rph y temperatura de regeneración de 120°C , alcanzándose mejores valores de DCOP y efectividad en la remoción de humedad. Por su parte en el caso de

la rueda entálpica los mejores resultados se obtienen para valores de 20 rpm.

La sicrometría mostrada visualiza que se alcanzan los valores de humedad absoluta y temperatura requeridos en el laboratorio, obtenién-

dose valores de temperatura de bulbo seco y humedad relativa de 19,1°C y 49,6%, respectivamente.

La figura 12, muestra el rendimiento del sistema de enfriamiento con rueda desecante para todas las condiciones estudiadas experimentalmente. De acuerdo a las condiciones

seleccionadas en los experimentos el COP tiene una variación entre 2,81 - 3,85. Estos valores de COP se encuentran dentro del rango de COP adecuados para sistemas de este tipo y son comparables con los que brindan los sistemas de enfriamiento convencionales.

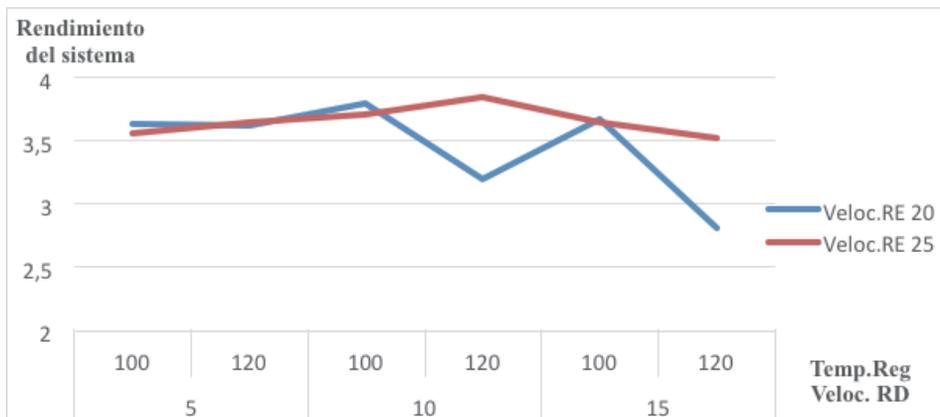


Figura 12. COP vs parámetros de operación del sistema de enfriamiento con rueda desecante
Fuente: Autores

Conclusión

Los resultados experimentales obtenidos del sistema de enfriamiento con rueda desecante estudiados muestran que es posible utilizar este tipo de sistema de acondicionamiento de aire en climas cálidos y húmedos como los de la Amazonia Ecuatoriana. Se logra garantizar con este sistema propuesto los valores de Temperatura y humedad requeridos en el Laboratorio Ecuamz del CIPCA, lo cual contribuirá a la

adecuada conservación de las especies endémicas de esta región.

Se reduce significativamente la carga latente con la introducción del deshumidificador desecante, lo que aumenta el rendimiento del ciclo y garantiza el control de la humedad.

El COP del sistema se mueve entre los valores 2,81 - 3,85, teniendo un adecuado desempeño este sistema. Se comprueba además la marcada

influencia de los parámetros de operación, velocidad de rotación de la rueda desecante y de la rueda entálpica, temperatura del aire de regeneración del desecante y condiciones ambientales en el desempeño de estos sistemas, obteniéndose que los mejores COP se alcanzan para valores de la rueda desecante iguales a 10 rph y temperatura del aire de regeneración de 120°C, y 25 rpm de la rueda entálpica con un valor de 3,85; y también para valores de la rueda desecante iguales a 10 rph y temperatura del aire de regeneración de 100°C, y 20 rpm de la rueda entálpica con un valor de 3,80.

El análisis de la condición del aire de suministro en las condiciones ambientales muestra que el sistema es capaz de proporcionar confort térmico en condiciones climáticas cálidas y húmedas y que puede ser una alternativa para los sistemas de aire acondicionado convencionales. Se encontró que un incremento marginal en el coeficiente de rendimiento se obtiene hasta la temperatura de regeneración de 120°C. El aumento adicional en la temperatura de regeneración influye positivamente en la COP en comparación con la cantidad de suministro de calor de regeneración.

Los resultados también muestran que el coeficiente de rendimiento del sistema es muy sensible a los cambios en la humedad relativa y en la

temperatura de regeneración. El cambio en la temperatura del aire del ambiente tiene una gran influencia en el rendimiento del sistema.

El rendimiento del sistema de acondicionamiento de aire de vapor y desecante sólido se puede mejorar más mediante el acoplamiento con la energía solar térmica o con la fuente de calor de residuos para el suministro del calor de regeneración necesario para la desorción de la rueda desecante.

Literatura Citada

1. Bellemo, L., Elmegaard, B., Reinholdt, L., Kaern, M., Jakobsen, A., Markussen, W, 2013. Modelling and analysis of a desiccant cooling system using the regenerative indirect evaporative cooling process. . in The 26th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems. July 16-19, 2013, Guilin, China: Technical University of Denmark DTU.

2. Jani, D.B., Mishra, M., Sahoo, P.K, 2015. Performance studies of hybrid solid desiccant vapor compression air conditioning system for hot and humid climates. *Energy and Buildings*. 102, 284–292.

3. Jia, C.X., Dai, Y.J., Wu, J.Y., Wang, R.Z, 2006. *Analysis on a hybrid desiccant air conditioning system*. *Appl. Therm. Eng.* 26, 2393-2400.

DOI:10.1016/j.applthermaleng.2006.02.016.

4. Khoukhi, M., 2013. *A study of desiccant based cooling and dehumidifying system in hot humid climate*. Mater. Mech. Manuf. 1, 191–194. DOI: 10.7763/IJMMM.2013.V1.41.

5. Montgomery, D., *Diseño y análisis de experimentos*. 1991, Monterrey, México: University State Arizona. ISBN 0-471-52000-4.

6. Panaras, G., Mathioulakis, E., Belessiotis, V., Kyriakis, N., 2010. *Theoretical and experimental investigation of the performance of a desiccant air conditioning system*. Renewable Energy. 35, 1368–1375.

7. Pesaran, A.A., Penney, T.R., Czanderna, A.W., 1992. *Desiccant Coolant State of*

the Art Assessment. National Renewable Energy Laboratory. A Division of Midwest Research Institute Operated for the U.S. Department of Energy Under Contract No. DE-AC02-83CH 10093.

8. Taweekun, J., Akvanich, V., 2013. *The experiment and simulation of solid desiccant dehumidification for air conditioning system in a tropical humid climate*. Engineering. 5, 146–153. DOI: 10.4236/eng.2013.51A021.

9. Zuraini Mohd, E., Arfidian, R., Ahmad, F., Sohif, M., Kamaruzzaman, S., 2013. *Performance of a Novel Solar Hybrid Desiccant Cooling System With Heat Pipe Heat Exchanger in Hot and Humid Weather of Malaysia*. Computer Applications in Environmental Sciences and Renewable Energy, 249-255. ISBN: 978-960-474-370-4.