



Sistema de enfriamiento con desecante para reducir consumo de energía en restaurante caso de estudio

Desiccant cooling system to decrease energy consumption in Restaurant study case

Tania – Carbonell Morales
Ibis – Salgado Álvarez

Recibido: abril de 2015

Aprobado: septiembre de 2015

RESUMEN/ABSTRACT

Este artículo mostró la posibilidad de emplear un sistema de enfriamiento con rueda desecante para el tratamiento del aire de las diferentes áreas del Restaurante caso de estudio, instalación alta consumidora de energía, de ahí la necesidad de estudiar nuevas alternativas para el acondicionamiento de aire que permitan el control de la humedad y el ahorro de energía. El análisis bibliográfico realizado mostró que actualmente los sistemas de enfriamiento con desecante están siendo estudiados y empleados como una alternativa para el ahorro de energía y el cuidado del medioambiente en el campo del tratamiento del aire. Se propuso un sistema compuesto fundamentalmente por una rueda desecante de gel de sílice, una rueda conservadora de energía y un intercambiador de calor. Con el nuevo sistema de enfriamiento la demanda de energía eléctrica disminuye previéndose ahorros del orden de 11802 CUC anualmente solo por concepto de consumo de energía eléctrica.

Palabras clave: sistemas de enfriamiento con rueda desecante, control de humedad, intercambiadores de calor, ahorro de energía.

In this paper the possibility of using a cooling system with a desiccant wheel for air treatment of different areas of the case study restaurant is shown. This facility is classified as high consumer of energy, making it necessary to study new alternatives for air conditioning allowing humidity control and energy saving. The literature review conducted on cooling systems with desiccant wheel technology was currently being studied and used as an alternative to saving energy and protecting the environment in the field of air treatment. The desiccant cooling system proposed is fundamentally for a desiccant wheel of silica gel, an energy conservative wheel and a heat exchanger. With the new cooling system electricity demand decreases and significant savings of about 11802 CUC are forecasted only in annual electricity consumption.

Key words: desiccant wheel cooling system, heat exchanger, saving energy, efficiency energy.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo creciente de la economía cubana demanda la necesidad de implementar tecnologías cada vez más eficientes desde el punto de vista energético. La industria turística es uno de los pilares de la economía cubana, el acondicionamiento del aire y la estabilización y cumplimiento de las normas de confort en sus instalaciones es de vital importancia. El acondicionamiento del aire consume grandes cantidades de energía

eléctrica, especialmente en áreas con climas cálidos y húmedos. El consumo de energía va en aumento a nivel mundial y se espera que se incremente en el futuro. Esta situación representa un gran desafío para la industria del acondicionamiento del aire, pues deberá brindar mayor calidad del aire interior y confort con mayor eficiencia energética.

Los sistemas de enfriamiento con desecantes proporcionan importantes ventajas y pueden solucionar algunos de los problemas antes mencionados, por eso desde hace algunos años se está usando esta tecnología en el acondicionamiento del aire en edificios.

Recientes avances en los materiales adsorbentes en conjunto con innovaciones en los diseños de los deshumidificadores o ruedas desecantes, están haciendo que se incremente el interés por el uso de los sistemas de enfriamiento con rueda desecante, en el acondicionamiento del aire.

Estudios bibliográficos realizados sobre esta tecnología muestran que para aplicaciones que requieren valores de humedad de alrededor del 50% y/o sistemas donde la fracción de carga latente sobrepasa el 25 % de la carga total de enfriamiento del edificio, es factible técnicamente el empleo de la tecnología de rueda desecante para el acondicionamiento del aire [1, 2].

Bacalli *et al* [3], muestran como una rueda desecante puede combinarse con un intercambiador de calor rotatorio para formar un sistema completo de aire acondicionado, donde el aire es secado por la rueda desecante y enfriado por el intercambiador de calor rotatorio (rueda sensible). Si se combinan estas circunstancias un sistema con desecante tiene el mismo tamaño físico que uno convencional lográndose, además reducción del consumo de energía y reducción del costo inicial comparado con otras tecnologías existentes para incrementar el aire fresco.

La rueda desecante ha sido declarada como componente clave o corazón de los sistemas de enfriamiento con desecantes. La mayor ventaja de su uso es que permite controlar independientemente las cargas sensible y latente en un edificio. Además si se dispone de calor de desecho o se emplean las energías renovables en la etapa de reactivación del desecante, se pueden obtener ahorros de energía hasta de un 50% si se comparan con los sistemas convencionales de acondicionamiento de aire [1- 4].

Muchos autores declaran a los sistemas de enfriamiento con desecantes como eficientes energéticamente y de costo eficaz [5,6]. Demuestran a su vez que los mismos son usados como sistemas aislados o combinados con los sistemas convencionales de acondicionamiento de aire (sistemas híbridos) para mejorar la calidad del aire interior de todo tipo de edificación.

Daou y otros [7] discuten los principales sistemas de enfriamiento con desecantes (líquidos y sólidos) mostrando la factibilidad de utilizar los sistemas de enfriamiento con sustancias desecantes, resaltando las ventajas que proporciona el uso de esta tecnología y los ahorros energéticos que se pueden obtener sobre todo cuando se utiliza fuentes de energías de desecho o alternativas en la etapa de reactivación del desecante.

Estudios recientes e iniciales de simulación del comportamiento de la tecnología de rueda desecante en Cuba, predicen ahorros de energía primaria con el uso de ruedas desecantes en sistemas de acondicionamiento de aire y empleando energía solar [8,9]

El restaurante caso de estudio actualmente tiene un alto consumo energético, no existiendo un equilibrio entre los gastos por consumo de energía y los gastos en relación a los servicios que presta, siendo catalogado como alto consumidor de energía. El sistema de climatización actualmente instalado no logra controlar la humedad en la edificación apareciendo el fenómeno de la condensación de vapor de agua en las paredes del inmueble. Debido a la necesidad de disminuir el consumo energético en este restaurante y lograr un control adecuado de la humedad en la edificación se propone valorar la posibilidad de emplear un nuevo sistema de enfriamiento, más eficiente desde el punto de vista energético y que garantice la calidad de los servicios brindados por esta instalación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sistema de enfriamiento con desecante

Un sistema de enfriamiento con desecante está formado principalmente por tres componentes, la fuente de calor para la etapa de regeneración, el deshumidificador desecante rotatorio o rueda desecante y la unidad de enfriamiento, como se puede ver en la figura 1.

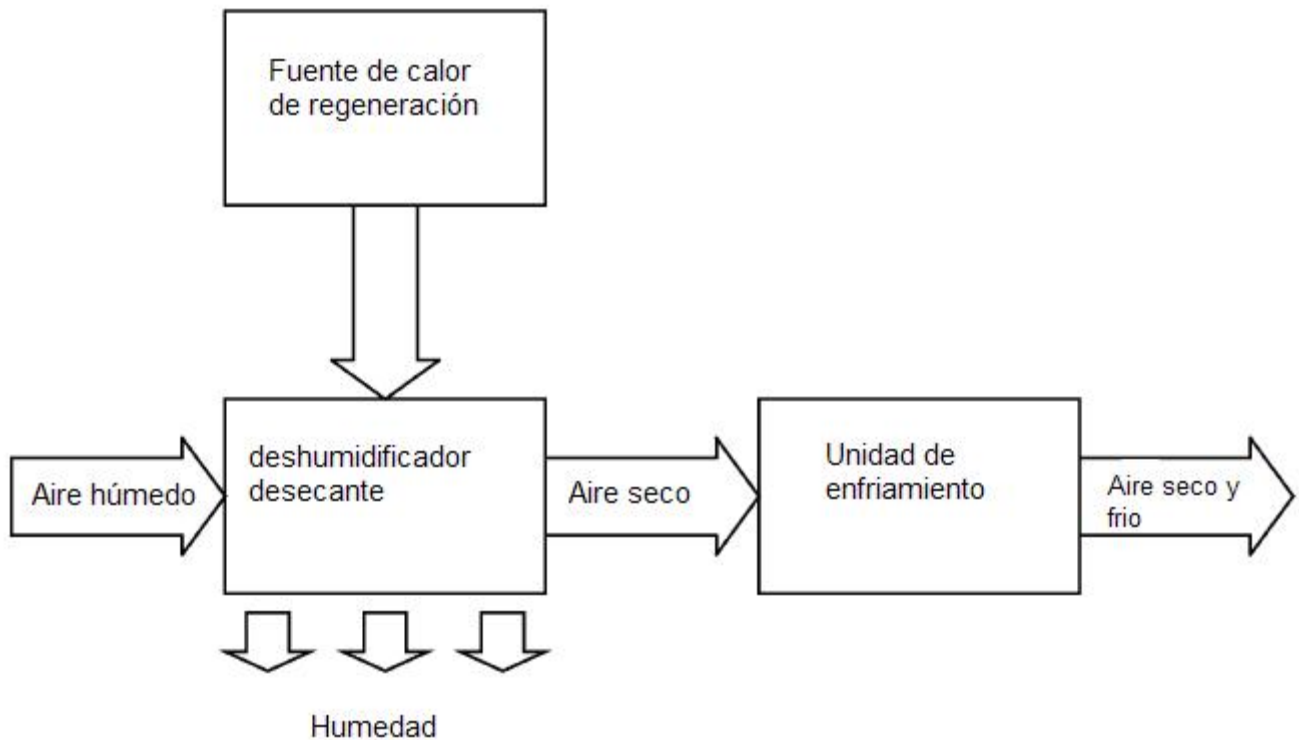


Fig. 1. Sistema de enfriamiento con desecante. Fuente propia

La rueda desecante rota lentamente entre dos flujos de aire en contracorriente, llamados aire de proceso y aire de reactivación. El aire exterior a deshumidificar y el aire caliente de regeneración pasan siempre alternativamente a través de los canales de circulación del aire pero en sentido opuesto. Ambos flujos se encuentran separados, evitándose la mezcla de los mismos, esto puede apreciarse en la figura 2.

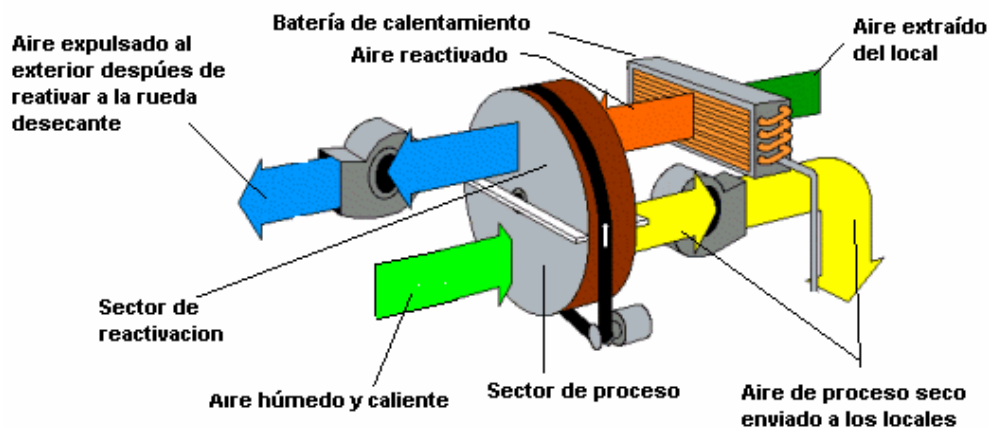


Fig. 2. Principio de operación de la rueda desecante. Fuente propia

La gran mayoría de las ruedas desecantes son hechas de gel de sílice o de tamiz molecular (zeolita) unidas a un sustrato de fibras de vidrio, papel o aluminio. Cuando se mira desde el aire la rueda asume la apariencia de un fino y enredado material de panal de abejas con muchos canales pequeños. El aire de proceso fluye entre los canales, y el desecante impregnado en la estructura absorbe la humedad del aire. Como el desecante recoge humedad, se va saturando y aumenta la presión de vapor de su superficie. Cuando la rueda entra en el sector de reactivación, el desecante es calentado y la presión de vapor de la superficie se eleva, permitiendo que elimine su humedad en el aire de reactivación. Después de la reactivación, el desecante caliente vuelve a la zona de proceso, donde una pequeña porción de aire de proceso lo enfría de forma que puede atraer más humedad.

Generalmente el 75% de la rueda hace contacto con el aire de proceso, mientras el otro 25% forma parte de la cámara de regeneración, aunque ésta relación varía existiendo ruedas de 50/50.

El restaurante objeto de estudio tiene una extensión total de 364 m² distribuidos en tres plantas denominadas primer, segundo y tercer nivel. La instalación está compuesta por salones principales, reservados tanto en el primer como en el segundo nivel. El restaurante tiene áreas de elaboración de alimentos que se incluyen en el estudio ya que es necesario controlar su temperatura y humedad, las mismas se encuentran ubicadas en el primer nivel y se comunican con los salones por mediación de un pasillo interior no climatizado. Para seleccionar un nuevo sistema de climatización es necesario realizar un cálculo de la carga térmica. La Tabla 1 resume los principales resultados para las diferentes áreas del restaurante estudiado.

Tabla 1. Resultados del cálculo de carga térmica en el Restaurante objeto de estudio

Áreas	Salón	Elaboración	Planta alta
Área (m ²)	90,1	49,3	115,4
Carga sensible (W)	18 262	16 075	20 456
Carga latente (W)	16 438	9 184	19 334
Carga total (W)	34 700	25 259	39 790

Como se aprecia en la tabla antes mencionada, en el salón de la planta baja la carga total a vencer es de 34,7 kW lo que equivale a 10 t de refrigeración (TR) representando la carga latente el 47,4% de la carga total; el flujo de aire es de 5 072 m³/h donde 1 008 m³/h serán de aire exterior para renovación con el propósito de eliminar olores desagradables y los restantes 4 064 m³/h serán del retorno. La humedad relativa es de 66% valor que no se encuentra dentro del rango definido de humedad relativa para confort, siendo esto hoy día un problema.

En el área de elaboración ubicada en la planta baja la carga total a vencer es de 25,3 kW lo que equivale a 7 TR representando la carga latente el 36,4% de la carga total; el flujo de aire a procesar es de 6 282 m³/h donde 162 m³/h serán de aire exterior para renovación y los restantes 6 120 m³/h serán del retorno. La humedad relativa obtenida es de 70% valor que no se encuentra dentro del rango definido de humedad relativa para confort.

En la planta alta la carga total a vencer es de 39,8 kW lo que equivale a 11,5 TR representando la carga latente el 48,6% de la carga total; el flujo de aire es de 5 032 m³/h donde 2 167 m³/h serán de aire exterior para renovación según los criterios antes expuestos y 2 865 m³/h serán del retorno. La humedad relativa es de 60% valor que se encuentra dentro del rango definido de humedad relativa para confort.

En todas las áreas del restaurante la fracción de carga latente supera el 25% de la carga total del sistema lo cual recomienda la valoración del empleo de sistemas de enfriamiento con desecantes.

RESULTADOS

Para seleccionar la rueda desecante y otros equipos del sistema de enfriamiento para las diferentes áreas del restaurante caso de estudio, es necesario definir las condiciones de diseño interior y exterior las cuales se enuncian a continuación:

- Condiciones de diseño interior: Temperatura igual a 20°C, flujo de aire igual a 6 282 m³/h, 55 % de humedad relativa y 8,5 g/kg_{as} de humedad absoluta.
- Condiciones de diseño exterior: Temperatura igual a 30°C, 70% de humedad relativa y 19 g/kg_{as} de humedad absoluta.

Para la selección de la rueda desecante se contactó a la compañía NOVEL AIRE TECHNOLOGIES, la cual envió un programa para la selección y simulación del comportamiento de las ruedas desecantes que ellos comercializan. Una vez introducidos los datos de la tabla anterior y utilizando los valores de velocidad de rotación de la rueda 5 RPH y temperatura del aire de regeneración (TR) 90°C recomendadas por bibliografía consultada [5], se seleccionó la rueda a utilizar. La figura 3, muestra, la rueda desecante seleccionada para el área de elaboración del restaurante caso de estudio.

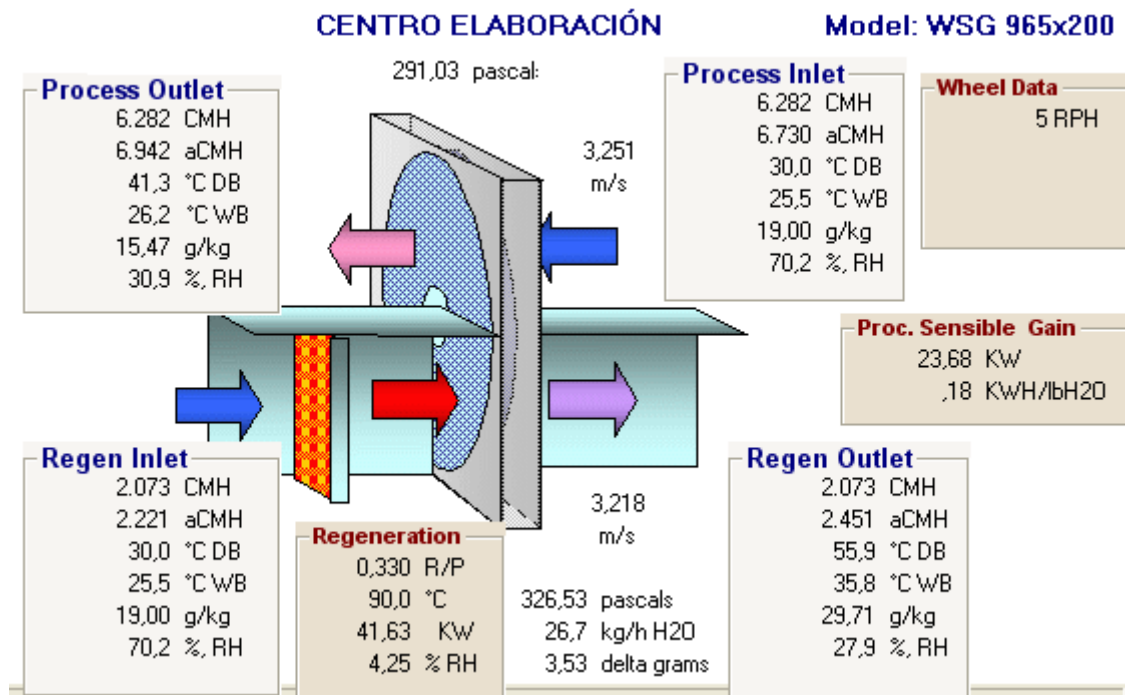


Fig. 3. Rueda desecante WSG 965x200

La rueda WSG tiene un diámetro de 0,965 m y 0,200 m de profundidad, con una relación entre el flujo de aire de proceso (M_p) y el flujo de aire de regeneración (M_R) de 3. El adsorbente predominante es el gel de sílice impregnado en un sustrato de fibra inorgánica, el ancho y la profundidad de la carcasa son 1,092 m y 0,33 m respectivamente, la potencia del motor que la mueve es 9,3 W. Como se explicó anteriormente el material desecante de la rueda necesita ser regenerado, para eso utilizaremos un calentador de gas que existe en la cocina del restaurante objeto de estudio, este proporciona agua hasta 100°C y es necesario diseñar un equipo de intercambio que lleve el aire de regeneración a 90°C. Se diseña un intercambiador compacto de tubos con aletas con flujo cruzado no mezclado, siguiendo el método del número de unidades de transferencia NTU [10]. Se calcula el área de transferencia del equipo la cual es de 31 m². Con el área superficial del lado del aire por unidad de volumen de intercambiador de calor que corresponde a $\alpha = 269 \text{ m}^2/\text{m}^3$ [10] el volumen del intercambiador de calor que se requiere es de 0,12 m³. Una vez conocido el volumen del intercambiador de calor se puede calcular la longitud del equipo en la dirección del flujo de aire, siendo la misma de 0,6 m para 18 filas.

En algunos sistemas, un postenfriamiento se logra combinando la rueda desecante con dispositivos que proporcionen enfriamiento sensible, tales como: intercambiadores de calor rotatorios (rueda sensible) o ruedas entálpicas.

En este artículo se propone un sistema de enfriamiento por rueda conservadora de energía total, este tipo de rueda también es comercializado por la compañía *NOVEL AIRE TECHNOLOGIES*, su selección también se realizó empleando un software facilitado por la compañía. En la figura 4 se observa la rueda conservadora de energía a utilizar con los resultados del cálculo.

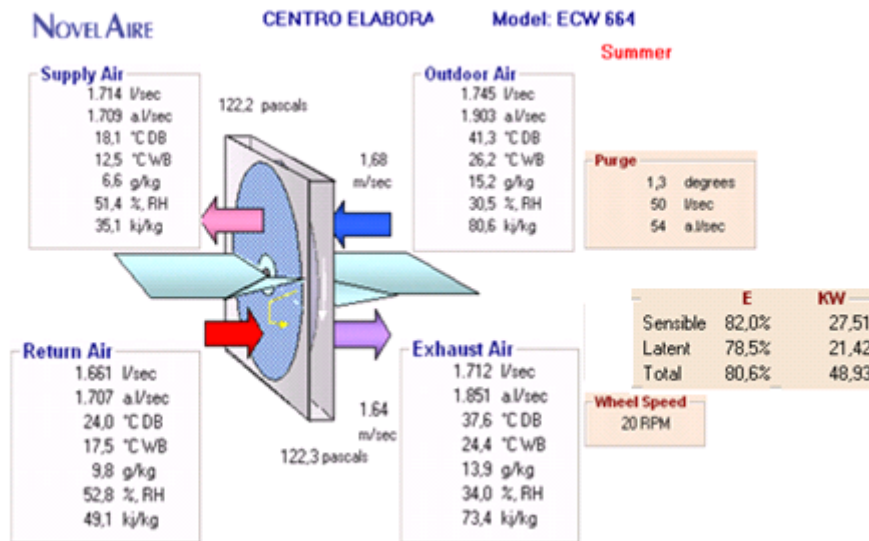


Fig. 4. Esquema de la rueda conservadora de energía total ECW 664

La rueda ECW tiene un diámetro de 1,676m y 0,102 m de profundidad, el adsorbente predominante es la zeolita en forma de tamiz molecular impregnada en un sustrato de fibra sintética corrugada, el ancho y la profundidad de la carcasa son 1,829 y 0,229 m respectivamente. La rueda se mueve con un motor cuya potencia es de 745 W.

Siguiendo la misma metodología de trabajo empleada anteriormente se va a seleccionar el sistema de enfriamiento con desecante para los salones de la planta alta y baja del restaurante.

- **Condiciones de diseño interior:** Temperatura igual a 24°C, flujo de aire igual a 10 104 m³/h, 55 % de humedad relativa y 11 g/kg_{as} de humedad absoluta.
- **Condiciones de diseño exterior:** Temperatura igual a 30°C, 70% de humedad relativa y 19 g/kg_{as} de humedad absoluta.

La rueda desecante seleccionada es la WSG 1220, tiene un diámetro de 1 220 mm y 200 mm de profundidad, el adsorbente predominante es la silica gel impregnada en un sustrato de fibra inorgánica, con un ancho y profundidad de carcasa igual a 1,372 m x 0,330 m respectivamente, es movida por un motor de 18,6 W de potencia. Se calcula el equipo de intercambio térmico que calentará el aire a usarse en la etapa de regeneración del desecante, el cual es un intercambiador de calor compacto aletado con un área de 40 m².

La rueda conservadora de energía total propuesta a ser empleada en el área de salón de la planta alta y baja del restaurante Paraíso Criollo es la ECW 784. La misma tiene un diámetro de 1,981 m y una profundidad de 0,102 m, en ella predomina la zeolita impregnada en un sustrato de fibra sintética corrugada. El ancho y la profundidad de la carcasa son 2,134 m y 0,241 m respectivamente. La rueda se mueve con un motor que tiene una potencia de 745 W.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En todo proceso para definir posibles soluciones tecnológicas juegan un papel esencial en la toma de decisiones los aspectos económicos y ambientales. En nuestro caso por no disponer de toda la información necesaria para realizar una valoración económica y ambiental, realizaremos una valoración desde el punto de vista energético de lo que significaría emplear los sistemas de acondicionamiento de aire propuestos para restaurante objeto de análisis, ya que la factibilidad técnica se ha ido mostrando a lo largo del artículo.

La demanda de energía eléctrica del sistema de climatización del restaurante caso de estudio, viene dada por la potencia necesaria para el funcionamiento del sistema de climatización de cada salón y áreas definidas. El restaurante consume diariamente 213,2 kWh, lo que representa 51,17 CUC y un gasto anual de 18 676,32 CUC. Si tenemos en cuenta que dada las características del restaurante y el servicio que presta, además de la afluencia constante de público por estar ubicado muy cerca de un Aeropuerto Internacional y que este trabaja los 365 días del año. Con la propuesta del nuevo sistema de enfriamiento la demanda de energía eléctrica disminuye según se muestra en la tabla 2. Los resultados obtenidos prevén ahorros

significativos del orden de 11 802 CUC anualmente solo por concepto de consumo de energía eléctrica, lo que justifica de forma preliminar cualquier inversión inicial para la implementación de la tecnología.

Tabla. 2. Costo por concepto de electricidad de la propuesta de sistema de enfriamiento

Componente	Consumo/día	Costo 1kWh = \$0,24 en CUC	
		Día	Año
Motor rueda desecante	0,0093kW	0,022 CUC	8,147 CUC
Ventilador	1,04kW	2,496 CUC	911,04 CUC
Extractor	1,04kW	2,496 CUC	911,04 CUC
Motor rueda conservadora	0,746kW	1,79 CUC	653,5 CUC
Subtotal área elaboración	2,835kW	6,805 CUC	2 483,72 CUC
Motor rueda desecante	0,0186kW	0,045 CUC	16,294 CUC
Ventilador	2,04kW	4,896 CUC	1787,04 CUC
Extractor	2,04kW	4,896 CUC	1787,04 CUC
Motor rueda conservadora	0,746kW	1,79 CUC	653,5 CUC
Subtotal salones	5,012kW	12,029 CUC	4 390,5 CUC
Total	7,847kWh	18,833 CUC	6 874,22 CUC

CONCLUSIONES

Este artículo muestra la posibilidad de emplear un sistema de enfriamiento con desecante para acondicionar el aire de las diferentes áreas del restaurante caso de estudio. Las ruedas desecantes 3:1 de gel de sílice seleccionadas WSG 965x200 para el área de elaboración y la WSG 1220x200 para los salones nos permiten obtener los valores de humedad requeridos en los locales a acondicionar el aire, siendo factible su empleo para la obtención de 8,5 g/kg_{as} y 11 g/kg_{as} de aire seco. El empleo del sistema de enfriamiento con desecante y rueda conservadora de energía propuesto, cumple con los requerimientos de temperatura y humedad establecidos para las diferentes áreas del restaurante, garantizando el confort y la calidad del aire con una tecnología de bajo impacto ambiental. Con el nuevo sistema de enfriamiento propuesto se reduce la demanda de energía eléctrica y se prevén ahorros significativos del orden de 11 802 CUC anualmente solo por concepto de consumo de energía eléctrica.

REFERENCIAS

- [1] Parmar H, et al. Desiccant cooling system for thermal comfort: A Review. International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST). May 2011;3(5):4218-4227. [Citado: noviembre de 2014]. Disponible en: <http://www.ijest.info/docs/IJEST11-03-05-256.pdf>. ISSN 0975-5462.
- [2] Ullah KR, et al. A review of solar thermal refrigeration and cooling methods. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2013;24:499-513. [Citado: octubre 2014]. Disponible en: http://umexpert.um.edu.my/file/publication/00005177_92789.pdf.
- [3] Baccali M, et al. Energy performance evaluation of a demo solar desiccant cooling system with heat recovery for the regeneration of the adsorption material. Renewable Energy. 2012;44:40-52. [Citado: octubre 2014]. Disponible en: <http://www.researchgate.net/publication/233732815>. ISSN 0960-1481. DOI 10.1016/j.renene.2011.12.021.
- [4] Khoukhi M. A Study of desiccant based cooling and dehumidifying systems in Hot -Humid Climate. International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing. 2013;1(2). [Citado: noviembre 2014]. Disponible en: <http://www.ijmmm.org/papers/041-TT313.pdf>.

- [5] Li Z, *et al.* Current Status and Future Trends in Data- Center Cooling Technologies. Heat Transfer Engineering. 2015;36(6):523-538. [Citado: octubre del 2014]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1080/01457632.2014.939032>. DOI 10.1080/01457632.2014.939032.
- [6] Sphaier LA, *et al.* Desiccant Cooling Cycle Tuning for Variable Environmental Conditions. Heat Transfer Engineering. 2014;35(11-12):1035-1042. [Citado: noviembre 2014]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1080/01457632.2013.863071>. DOI 10.1080/01457632.2013.863071.
- [7] Daou K, *et al.* Desiccant cooling air conditioning: a review. Renewable and Sustainable energy Reviews 2006;10:55-77. [Citado: enero del 2007]. Disponible en: <https://trisofof.files.wordpress.com/2012/09/desiccant-cooling-air-conditioning-a-review.pdf>. DOI 10.1016/j.rser.2004.09.010.
- [8] Carbonell T, *et al.* Influencia de las condiciones ambientales en el comportamiento de un deshumidificador desecante. Parte I. Revista Ingeniería Mecánica. 2009;12(1). [Citado: Marzo del 2014]. Disponible en: <http://www.ingenieriamecanica.cujae.edu.cu/index.php/revistaim/article/view/52>. ISSN 1815-5944.
- [9] Carbonell Morales T. Modelación para la operación de ruedas desecantes 3:1 de sílica gel en climas tropicales [Tesis para optar por el grado de Doctor en Ciencias Técnicas]. La Habana: CUJAE; 2008. [Citado: Marzo del 2014] Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/145344275/Rueda-Desecante#scribd>.
- [10] Incropera FP, *et al.* Introduction to Heat Transfer. 3ra ed. New York: Jhon Wiley & Sons, Inc; 1999.

AUTORES

Tania Carbonell Morales

Ingeniera Química, Doctora en Ciencias Técnicas, Profesor Titular, Centro de Estudios de Tecnologías Energéticas Renovables, CETER. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba.

e-mail: taniac@ceter.cujae.edu.cu

Ibis Salgado Alvarez

Ingeniera Mecánica, Máster en Eficiencia Energética, Especialista de la Empresa Cubacatering S.A, La Habana, Cuba.