

MODELO DE FACHADA VENTILADA CON DESECANTE PARA ACONDICIONAMIENTO DEL AIRE EXTERIOR DE VENTILACIÓN

FERNÁNDEZ HERNÁNDEZ, Francisco; CEJUDO LÓPEZ, José Manuel

DOMÍNGUEZ MUÑOZ, Fernando; CARRILLO ANDRÉS, Antonio

franciscofh@uma.es

Universidad de Málaga, Campus de Excelencia Internacional, Andalucía Tech. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Grupo de Energética

RESUMEN

Los sistemas de climatización y ventilación de edificios deben garantizar la calidad del aire interior y unas condiciones de temperatura y humedad que proporcione a los ocupantes un ambiente confortable y saludable, tal y como se recoge en el Código Técnico de la Edificación [1]. Con este fin, los materiales desecantes son utilizados en las unidades de tratamiento de aire. Combaten, en climas húmedos, la elevada carga latente de la zona, y son regenerados con aire caliente a partir de 50-60°C, lo suficientemente bajo para que el calor lo proporcione un colector solar plano.

En este trabajo se sustituye la rueda desecante convencional y se propone un nuevo diseño de una fachada ventilada, a la que se adhiere el material desecante. El aire de ventilación circula a través de la cámara de aire de la fachada, poniéndose en contacto con el material desecante, con el que transfiere masa y energía y, posteriormente, se somete a un tratamiento en una climatizadora convencional (batería de frío, enfriamiento evaporativo...) para ser impulsado a la zona. Cuando el desecante se satura y no puede adsorber más humedad, el sistema de fachada dispone de un captador solar que calienta el aire exterior hasta la temperatura necesaria para su regeneración. El diseño de dos columnas de fachada desecante permite alternar los modos de adsorción y desorción sin que se interrumpa el caudal de aire de ventilación.

Planteadas las hipótesis, se desarrolla un modelo de la transferencia de calor y masa en la fachada. Se presenta el estudio de la simulación del caso base. Un estudio posterior permitirá la optimización de los parámetros más importantes: tipo de panel exterior, tipo y características del desecante y geometría del sistema, además del comportamiento para diferentes condiciones exteriores (aire y radiación solar).

El trabajo se encuadra en el proyecto FAVEDES, financiado por la Secretaría de Estado de I+D+I del Ministerio de Economía y Competitividad dentro de la convocatoria INNPACTO 2011 y cuenta con la participación de Instituto Andaluz de Tecnología, Tecnalia, Grupo de Energética de la Universidad de Málaga, Astrawall Ibérica, b720 Arquitectos y Negarra.

Palabras clave: Sistemas de ventilación, fachada ventilada, desecantes sólidos, modelado físico

1. Introducción

El elevado consumo de energía debida al acondicionamiento del aire exterior en edificios ha aumentado la preocupación por el ahorro energético en edificios. Las nuevas directivas europeas fomentan el desarrollo de tecnologías de climatización y ventilación que disminuyan el consumo de energía en edificios. Uno de sus objetivos es que las energías renovables (fundamentalmente la energía solar) tengan mayor protagonismo en los sistemas de climatización. Un ejemplo son los sistemas de refrigeración solar en ciclo abierto. Utilizan desecantes sólidos dispuestos en rotores para reducir la humedad del aire exterior, lo que permite combatir la carga sensible y latente por separado. La energía solar se utiliza para calentar el aire a la temperatura necesaria para la regeneración del desecante.

Los estudios teóricos y experimentales sobre el modelado de rotores desecantes son muy extensos. Desde el punto de vista teórico, Pesaran [2] fue un precursor en el estudio del transporte de masa en partículas de sílica-gel. Más recientemente, Ruivo [3] ha desarrollado modelos detallados de los fenómenos de transferencia de calor y masa en ruedas higroscópicas. El presente estudio se basa principalmente en el trabajo de estos autores, para el modelado simplificado del paso de aire a través de un canal desecante, adaptado para el caso de que el desecante se disponga sobre una pared vertical, en lugar de en un rotor cilíndrico.

Con este fin se plantea el proyecto FAVEDES, cuyo objetivo es el diseño y desarrollo de un sistema que integre las ventajas de las fachadas ventiladas como elemento pasivo y la capacidad de tratamiento de aire que los desecantes ofrecen como elemento activo. El estudio pretende, a través del modelo desarrollado, obtener una primera visión del funcionamiento del sistema, evaluar los cambios en la humedad y temperatura del aire tratado, la capacidad de adsorción y regeneración del desecante, determinar los periodos de los ciclos de adsorción y desorción, valorar la potencia latente y el potencial ahorro de energía en el acondicionamiento del aire exterior de un edificio.

Tras esta primera valoración, estudios futuros permitirán optimizar los parámetros del sistema y realizar una experimentación que permita la validación del modelo teórico.

2. Caracterización de una fachada desecante.

2.1. Descripción de los fenómenos físicos en el medio poroso desecante.

Los fenómenos de transporte de masa de agua que se producen en el paso de una corriente de aire a través de un desecante sólido son: el transporte de vapor de agua y el transporte de agua adsorbida.

El transporte de vapor de agua en el medio poroso es de naturaleza difusiva, pudiendo existir la difusión de Knudsen y la difusión normal de Fick. En la difusión de Knudsen las colisiones ocurren principalmente entre las moléculas del gas y las paredes del poro y no entre las propias moléculas, siendo las colisiones con la pared del poro la principal resistencia a la difusión. En el presente estudio se considera un tamaño de los poros muy pequeño, por lo que se desprecia la difusión de Fick, ya que es insignificante en comparación con la de Knudsen [2]. Además del transporte de vapor de agua, existe el transporte de agua adsorbida, por difusión superficial, sobre las superficies de los poros.

El transporte de masa entre el aire y el desecante está determinado por el equilibrio entre las presiones de vapor de la humedad del aire adsorbido y la de la humedad del aire circundante. El desecante atrae la humedad del aire circundante porque el aire en equilibrio con su superficie tiene una menor presión parcial de vapor de agua que la del aire circundante. Para eliminar el agua adsorbida en los poros el desecante se somete al proceso de desorción. Se introduce el aire circundante a una alta temperatura, que calienta el desecante y tiene la energía suficiente para iniciar el proceso de vaporización del agua adsorbida en los poros. Como consecuencia, la condición de equilibrio en la isoterma de adsorción cambia, dando lugar a un aire con una mayor humedad, y una presión parcial de vapor mayor que la presión del aire circundante, por lo que se inicia la transferencia de masa desde el desecante hacia la corriente de aire caliente.

2.2. Funcionamiento de la fachada desecante.

El sistema de fachada desecante tiene la misma estructura que una fachada ventilada, con la incorporación de la capa de desecante. Se trata de un sistema constructivo de cerramiento exterior que se incorpora a la fachada tradicional del edificio. El esquema de una fachada desecante se representa en la figura 1.

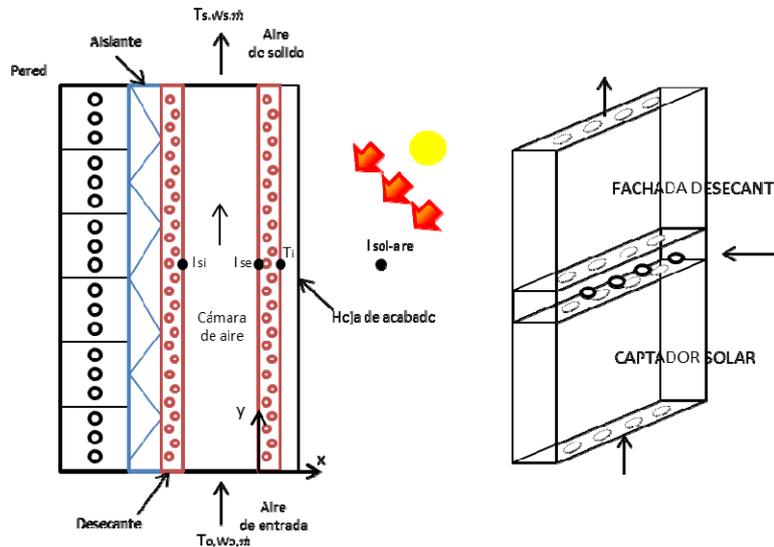


Figura 1. Esquema de una fachada desecante.

Si se parte de la cara interior, la primera capa es de aislamiento, para que el ambiente interior se vea afectado lo menos posible. Entre la capa de aislamiento y la hoja de acabado se establece una cámara de aire de unos pocos centímetros de espesor por donde circula el aire de ventilación. El material desecante va adherido a la cara exterior del aislante y a la cara interior de la hoja de acabado, de manera que la cámara de aire queda delimitada por las dos capas de desecante maximizando el contacto del aire con el desecante. Finalmente, se incorpora una hoja de acabado exterior, que puede ser de diversos materiales: piedra, madera, vidrio, paneles sándwich...

Debajo de la fachada desecante de la figura 1, se incorpora otro sistema constructivo en la fachada, un captador solar de aire. Éste tiene la misma estructura de fachada ventilada, con el objetivo de que el aire, que es introducido por su parte inferior, aumente su temperatura hasta valores requeridos para la regeneración del desecante. De esta manera, cuando el material desecante está saturado y no puede adsorber más humedad, se introduce el aire procedente del captador solar para que lo regenere.

El sistema tiene dos modos de operación: el modo de adsorción y el de desorción. Para poder alternar los modos de adsorción y desorción sin que se interrumpa el caudal de aire de ventilación, se ha diseñado un sistema con dos columnas de fachada desecante, que entran en funcionamiento alternativamente, de manera que si una está en modo adsorción la otra está en modo desorción y viceversa.

3. Modelado de la fachada desecante

El modelado de este proceso exige la resolución de ecuaciones diferenciales de conservación de cantidad de movimiento, masa y energía, en una formulación tridimensional y transitoria. Sin embargo, el objetivo es disponer de un modelo más simplificado que permita la simulación con un menor coste computacional.

3.1. Hipótesis de simplificación.

Como el objetivo es disponer de un modelo simplificado, se presentan las siguientes hipótesis de simplificación.

1. No existen reacciones químicas.
2. La pared del desecante es estática e indeformable.
3. El flujo de aire puede ser laminar o turbulento, en función de la velocidad del aire de entrada, y es incompresible.
4. En el interior del medio microporoso se considera despreciable cualquier transporte advectivo (movimiento de traslación en dirección del flujo).
5. El transporte de masa en el desecante es de naturaleza puramente difusiva, compuesto por la difusión de Knudsen (vapor de agua) y la difusión superficial (agua adsorbida).
6. Se admite la condición de equilibrio termodinámico local, siendo la adsorción/desorción el único proceso de cambio de fase considerado.
7. Las resistencias de transferencia de calor y de masa en el medio poroso son nulas en dirección transversal (dirección x) e infinitas longitudinalmente (dirección y).
8. Se supone el balance de calor con el exterior en régimen permanente.

3.2. Ecuaciones de conservación de masa y energía. Balance en la interfaz: flujo de aire-pared desecante.

Se realiza un balance de masa de agua y energía en la interfaz pared desecante-flujo de aire (Figura 2).

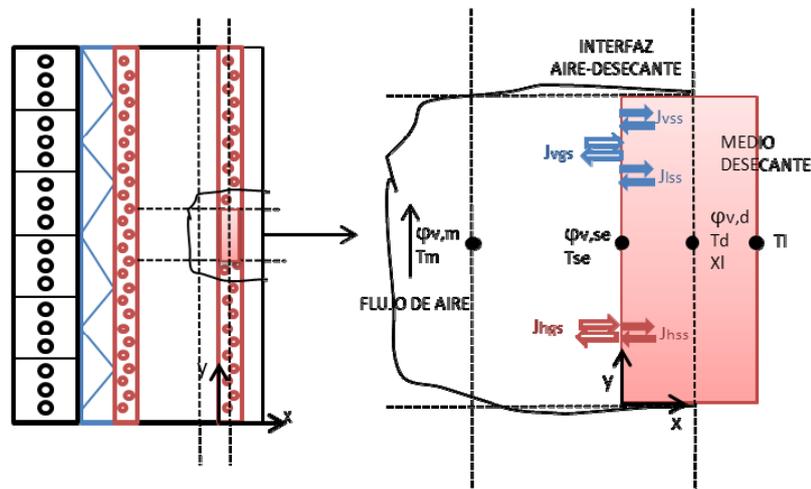


Figura 2. Balance en la interfaz desecante-aire. Flujos convectivos de masa y calor.

En la figura 2 se muestra el análisis de una parte ampliada del canal, en el que se representan los nodos correspondientes al aire en el canal ($\varphi_{v,m}$ y T_m), al aire en la interfaz aire-desecante ($\varphi_{v,se}$ y T_{se}) y al aire en el desecante ($\varphi_{v,d}$, T_d y X_1). Los valores de φ_v y T corresponden a la fracción másica de vapor de agua del aire ($\text{kg}_{\text{vapor}}/\text{kg}_{\text{airehúmedo}}$) y a la temperatura del aire ($^{\circ}\text{C}$). El término X_1 es la cantidad de agua adsorbida en el desecante ($\text{kg}_{\text{aguaadsorbida}}/\text{kg}_{\text{desecanteseco}}$).

El balance de masa en la interfaz iguala el flujo convectivo de masa por el lado del flujo de aire (j_{vgs}) con la suma de: la difusión superficial (j_{lss}) y la difusión de Knudsen (j_{vss}) del lado del desecante. Se impone la condición de impermeabilidad en $x=e_d$, siendo e_d el espesor del desecante.

Sustituyendo el valor de cada término, la ecuación queda:

$$h_m \cdot \rho_f \cdot (\varphi_{v,se} - \varphi_{v,m}) = - \frac{D_{K,eff}}{\varepsilon_{g,w}} \cdot \rho_{g,w}^* \cdot \frac{(\varphi_{v,d} - \varphi_{v,se})}{\Delta x} - D_{s,eff} \cdot \rho_{s,d}^* \cdot \frac{(X_1 - X_{1,se})}{\Delta x} \quad (1)$$

dónde:

- h_m : Coeficiente convectivo de masa (m/s).

- ρ_f : Densidad del aire ($\text{kg}_{\text{airehúmedo}}/\text{m}^3$).
- $\varphi_{v,se}$: Fracción másica de vapor de agua del aire en la interfaz ($\text{kg}_{\text{vapor}}/\text{kg}_{\text{airehúmedo}}$).
- $\varphi_{v,m}$: Fracción másica de vapor de agua del aire en el canal ($\text{kg}_{\text{vapor}}/\text{kg}_{\text{airehúmedo}}$).
- $D_{k,eff}$: Coeficiente efectivo de difusión de Knudsen (m^2/s). Se calcula según Ruivo [3].
- $\varepsilon_{g,v}$: Fracción de volumen de la mezcla gaseosa en el medio poroso.
- $\rho_{g,v}$: Densidad aparente de la mezcla gaseosa en el medio desecante ($\text{kg}_{\text{airehúmedo}}/\text{m}^3$).
- $\varphi_{v,d}$: Fracción másica de vapor de agua del aire en el desecante ($\text{kg}_{\text{vapor}}/\text{kg}_{\text{airehúmedo}}$).
- Δx : Distancia de la interfaz al nodo en el desecante (m).
- ρ_{sd}^* : Densidad aparente del desecante sólido ($\text{kg}_{\text{desecanteseco}}/\text{m}^3$).
- $D_{s,eff}$: Coeficiente efectivo de difusión superficial (m^2/s). Se calcula según Ruivo [3].
- X_1 : Cantidad de agua adsorbida en el medio desecante ($\text{kg}_{\text{aguaadsorbida}}/\text{kg}_{\text{desecanteseco}}$).

Por otro lado, la otra ecuación de balance de masa se obtiene con un balance al aire en el canal:

$$L_c \cdot \dot{m} \cdot \rho_f \cdot (\varphi_{v,se} - \varphi_{v,m}) = \dot{m} \cdot (\varphi_{v,s} - \varphi_{v,o}) \quad (2)$$

, siendo:

- L_c : Longitud del canal (m).
- \dot{m} : Caudal del aire de entrada ($\text{kg}_{\text{airehúmedo}}/\text{s}$).
- $\varphi_{v,s}$: Fracción másica de vapor de agua del aire de salida ($\text{kg}_{\text{vapor}}/\text{kg}_{\text{airehúmedo}}$).
- $\varphi_{v,o}$: Fracción másica de vapor de agua del aire de entrada ($\text{kg}_{\text{vapor}}/\text{kg}_{\text{airehúmedo}}$).

El balance de energía se determina a partir de la condición de temperatura impuesta T_{se} (ecuación 3). Se supone régimen permanente y, en la cara exterior, el balance radiante-convectivo se simplifica mediante la temperatura sol-aire y un coeficiente convectivo-radiante h_{c-r} . Además se incluye el término del calor asociado a la transferencia de masa. La otra ecuación viene de un balance al aire en el canal (ecuación 4).

$$h_e \cdot (T_{se} - T_m) + \dot{m} \cdot \rho_f \cdot (\varphi_{v,se} - \varphi_{v,m}) \cdot h_{v,se} = \frac{T_{\text{sol-aire}} - T_{se}}{\frac{1}{h_c} + \frac{e_p}{k_p} + \frac{e_d}{k_d}} \quad (3)$$

$$L_c \cdot h_e \cdot (T_{se} - T_m) = \dot{m} \cdot C_{p,f} \cdot (T_s - T_o) \quad (4)$$

, dónde:

- h_e : Coeficiente convectivo de calor ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$).
- T_{se} : Temperatura del aire en la interfaz ($^{\circ}\text{C}$).
- T_m : Temperatura media del aire del canal ($^{\circ}\text{C}$).
- $T_{\text{sol-aire}}$: Temperatura equivalente a la temperatura exterior que tiene en cuenta la radiación solar incidente, la absorptividad del cerramiento exterior y los fenómenos de radiación y convección del exterior ($^{\circ}\text{C}$).
- h_{c-r} : Coeficiente de convección-radiación con el exterior ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$). Se calcula como el inverso del valor de la resistencia térmica superficial del cerramiento en contacto con el aire exterior, tabla E.1 (cerramientos verticales, flujo horizontal) del CTE-HE1 [4].
- e_p : Espesor del panel exterior (m).
- k_p : Conductividad térmica del panel exterior (W/mK).
- e_d : Espesor del desecante (m).
- k_d : Conductividad térmica del desecante (W/mK).
- $h_{v,se}$: Entalpía de vapor en la interfaz (J/kg).
- $C_{p,f}$: Calor específico del aire (J/kgK).

- T_s : Temperatura del aire de salida ($^{\circ}\text{C}$).
- T_o : Temperatura del aire de entrada ($^{\circ}\text{C}$).

Finalmente quedan 4 ecuaciones (1, 2, 3 y 4) y las siguientes incógnitas: T_{se} , T_{se} , $\phi_{v,se}$, $\phi_{v,s}$ y $\phi_{v,d}$. La ecuación adicional se obtiene mediante la isoterma de equilibrio característica del desecante que permiten obtener el contenido en agua del desecante a partir de la temperatura y la humedad relativa del aire en equilibrio con la superficie del desecante.

Los coeficientes convectivos de calor y de masa se obtienen (ecuaciones 6 y 7) a partir de los números de Nusselt y de Sherwood, que están relacionados mediante la analogía de Chilton-Colburn (ecuación 5), siendo D_h el diámetro hidráulico. El número de Nusselt se calcula en función de si el flujo está en régimen de entrada o completamente desarrollado, y si está en régimen laminar o turbulento, mediante las correlaciones de Kays y Crawford [5], Gnielinski [6] o Sieder y Tate [7].

$$S_h = N_{Sh} L_e^{-1/4}$$

$$h_c = \frac{N_{Nu} k_f}{D_h} \quad (5)$$

$$h_m = \frac{S_h D_f}{D_h} \quad (6)$$

$$(7)$$

El cálculo de la conductividad térmica (K_f), el calor específico (C_{p_f}), la difusividad (D_f), la densidad (ρ_f) y la viscosidad dinámica del aire húmedo (μ_f) se han obtenido a partir de expresiones polinómicas de acuerdo a Çengel [8], y a la temperatura media del aire, que resulta de la media entre el aire de salida y el aire de entrada.

4. Resultados

Se realiza la simulación del modelo simplificado planteado. El objetivo es caracterizar el comportamiento global del paso de aire a través de una superficie desecante, y de esta manera, evaluar el rendimiento del sistema de una fachada desecante. El sistema debe ser capaz de aportar aire seco durante el mayor tiempo posible. Además, se valora la cantidad de carga latente que es capaz de combatir, que está relacionada con el grado de deshumectación y el caudal de aire tratado. Otro aspecto muy importante es la regeneración del desecante. El aire caliente procedente del captador solar debe de eliminar la mayor cantidad de agua adsorbida en el desecante (antes de alcanzar el equilibrio) en el menor tiempo posible, de esta manera se garantiza la capacidad de adsorción del desecante y la estabilidad del sistema.

4.1. Caso base

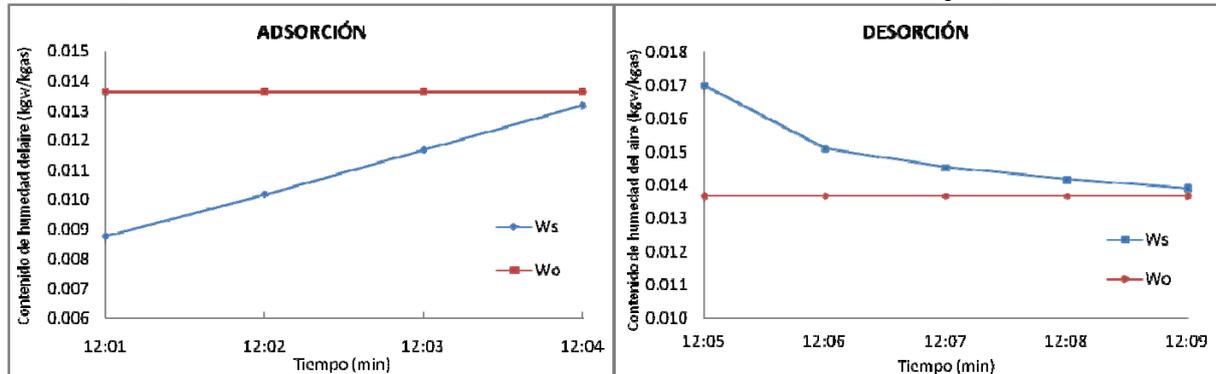
La idoneidad del uso de sistemas de tratamiento de aire con desecantes, en climas húmedos, conlleva la elección del clima de Málaga para el caso de estudio. Se ha utilizado el fichero climático de EnergyPlus. Se ha simulado un día de verano, el día 22 de julio a las 12:00 de la mañana, donde la temperatura del aire está en torno a los 30°C , y con un contenido de humedad alto, aproximadamente de $14 \text{ g}_{\text{agua}}/\text{kg}_{\text{aireseco}}$. El desecante está inicialmente seco, con $0.01 \text{ kg}_{\text{agua}}/\text{kg}_{\text{desecante seco}}$. La velocidad del aire de entrada es de 5 m/s , un valor alto para que el caudal de aire tratado sea elevado y se consiga una mayor potencia latente del sistema. En la tabla 1 se muestran los parámetros de diseño más importantes del sistema.

Tabla 1: Parámetros de diseño del sistema.

Desecante	Tipo de sílica-gel	Sílica gel RD (Pasaran [9])	Panel exterior	Conductividad térmica	0.01352 W/mK
	Espesor	0.1 mm		Espesor	0.004 m
	Nº de capas desecante en	2		Absortividad	0.4

	fachada (1 ó 2)				
Fachada desecante	Longitud	2 m	Captador solar	Rendimiento	0.6
	Espesor cámara de aire	0.01 m		Longitud	2 m

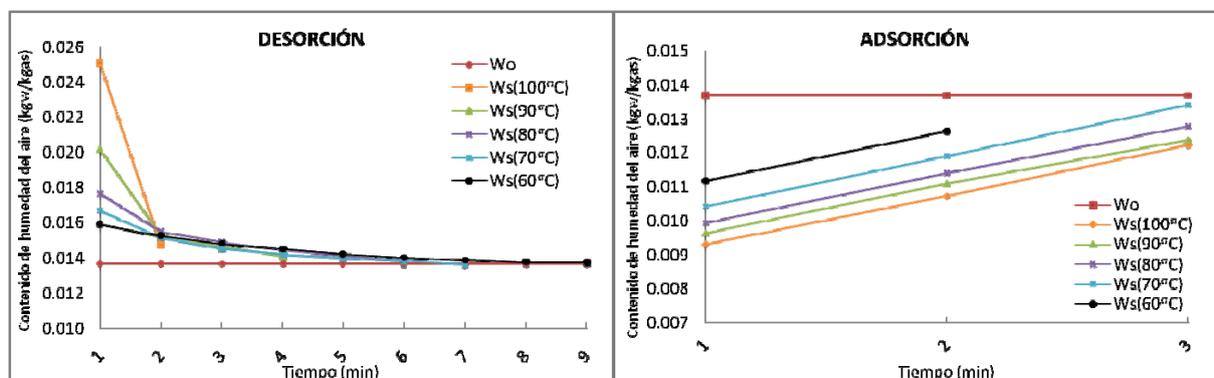
En la figura 3 se presentan las curvas de la humedad del aire de entrada y de salida en los procesos de adsorción y desorción. Inicialmente, la humedad del aire de salida es de $8.7 \text{ g}_{\text{agua}}/\text{kg}_{\text{aireseco}}$, por lo que



se ha obtenido un grado de deshumectación (diferencia con respecto a la humedad de entrada) de $4.89 \text{ g}_{\text{agua}}/\text{kg}_{\text{aireseco}}$. Esto es debido a una efectiva transferencia de humedad del aire hacia el desecante. Este proceso de adsorción da lugar a la condensación de la humedad en los poros del desecante, proceso que lleva asociado, por un lado, una liberación de energía en forma de calor que recibe el aire en la interfaz, aumentando su temperatura, y, por otro lado, en los minutos posteriores, la cantidad de agua adsorbida en los poros va aumentando, dando lugar a que la curva del contenido de humedad del aire de salida evolucione de forma lineal hasta alcanzar el valor de la humedad de entrada 4 minutos después, a las 12:04 horas. En este momento el desecante no puede adsorber más humedad, se produce el equilibrio y se inicia el proceso de desorción.

Figura 3. Caso base. Evolución temporal del contenido de humedad del aire en los procesos de adsorción y desorción.

El proceso de desorción se inicia con un aumento de la temperatura del aire de entrada a la fachada, que procede del captador solar, y pasa de 29.5°C a 72.4°C . El aire caliente tiene la energía suficiente para iniciar el proceso de vaporización del agua adsorbida en el desecante. En el primer minuto, la cantidad de agua adsorbida eliminada es muy elevada, lo que da lugar a que el contenido de humedad del aire en el desecante aumente, la cantidad de masa y energía transferida del desecante al aire es máxima, y el aire de salida tenga una humedad muy elevada. A partir de este instante, el aire en el desecante va aumentando su temperatura y disminuyendo su contenido de humedad y cantidad de agua adsorbida hasta llegar al punto de equilibrio, en el que se ha conseguido regenerar el desecante



hasta un valor de $0.06 \text{ kg}_{\text{agua}}/\text{kg}_{\text{desecante seco}}$. El tiempo de la regeneración ha sido de 4 minutos.

La capacidad de adsorción del desecante en el tiempo depende fundamentalmente de la temperatura de regeneración. Inicialmente, el desecante tenía un agua adsorbida de $0.01 \text{ kg}_{\text{agua}}/\text{kg}_{\text{desecante seco}}$ y, tras el

primer ciclo de adsorción-desorción, se ha regenerado hasta $0.06 \text{ kg}_{\text{agua}}/\text{kg}_{\text{desecante seco}}$. Esto significa que si la temperatura de regeneración no es lo suficientemente alta, el desecante no se regenera eficazmente, lo que provoca que el siguiente ciclo de adsorción tenga un grado de deshumidificación menor y sea más corto, dando lugar a que, de forma global, el sistema combata menos carga latente durante menos tiempo. La figura 4 muestra la influencia de diferentes temperaturas de regeneración en el caso base.

Figura 4. Caso base. Influencia de la temperatura de regeneración.

La gráfica del proceso de desorción demuestra que, en los casos en los que la temperatura de regeneración es mayor, la humedad del aire de salida es más alta y el tiempo de regeneración es más corto. El aire de salida del proceso de desorción tiene valores de humedad más elevados porque la cantidad de agua eliminada de los poros ha sido más alta y, por lo tanto, el proceso de regeneración ha sido más eficaz.

En la gráfica del posterior proceso de adsorción, se observa que, para una temperatura de 100°C , se consigue la humedad de salida más baja, de $9.3 \text{ g}_{\text{agua}}/\text{kg}_{\text{aireseco}}$, frente a los $11.1 \text{ g}_{\text{agua}}/\text{kg}_{\text{aireseco}}$, del caso de la temperatura de 60°C . Esto demuestra que, si en el anterior proceso de desorción la regeneración es mayor, el desecante inicialmente está más seco y da lugar a una mayor transferencia de masa con el aire circundante, con el consiguiente aumento del grado de deshumidificación.

5. Resumen y conclusiones

En este artículo se presenta el diseño de un sistema de fachada ventilada con desecantes para el acondicionamiento del aire exterior de ventilación de un edificio. El objetivo es sustituir la rueda desecante convencional e incorporar la fachada como elemento pasivo del sistema.

Basado en estudios anteriores, se establecen una serie de hipótesis de simplificación que permiten plantear las ecuaciones de balance de masa y energía que reproducen la transferencia de masa y de calor del paso del aire a través de la fachada desecante. A partir de éstas, se desarrolla un modelo simplificado del sistema y se procede a la simulación del mismo.

Los resultados demuestran que, a partir del caso base planteado, en un clima húmedo, el sistema es capaz de deshumidificar el aire exterior de ventilación hasta $4.89 \text{ g}_{\text{agua}}/\text{kg}_{\text{aireseco}}$ y un tiempo de adsorción de 4 minutos. La gráfica del proceso de desorción muestra que, para una temperatura de regeneración de aproximadamente 70°C , se ha producido una regeneración eficaz del desecante, en un tiempo de 5 minutos en el que se ha eliminado $0.14 \text{ kg}_{\text{agua}}/\text{kg}_{\text{desecante seco}}$. Además, se demuestra que valores mayores de la temperatura de regeneración mejoran el rendimiento del sistema. Por un lado, se elimina más agua adsorbida del desecante, de tal manera que en los posteriores procesos de adsorción la capacidad de adsorción del desecante es más efectiva y el aire de salida es más seco, y, por otro lado, la regeneración se produce en un tiempo menor.

Un estudio de sensibilidad futuro permitirá optimizar los parámetros de operación. Además, el proyecto prevé un modelo experimental que permitirá validar el modelo teórico.

6. Referencias

- [1] Documento Básico HS3 del Código Técnico de la Edificación (CTE). Real Decreto 314/2006 de 17 de marzo.
- [2] A. Pesaran. Moisture transport in silica gel particle beds. PhD thesis. University of California, Los Ángeles. 1983.
- [3] C.R. Ruivo. Modelação numérica dos fenómenos de transferencia de calor e de massa em rodas higroscópicas, PhD thesis. University of Coimbra, Coimbra, Portugal. 2005.
- [4] Documento Básico HE1 del Código Técnico de la Edificación (CTE). Real Decreto 314/2006 de 17 de marzo.

- [5] W.M. Kays and M.E. Crawford. Convection Heat and Mass Transfer. McGraw-Hill. New York. 1980.
- [6] Gnielinski, V. Int. Chem. Eng., 16, 359, 1976.
- [7] Sieder, E. N., and G. E. Tate, Ind. Eng. Chem., 28, 1429, 1936.
- [8] Y.Çengel. Heat Transfer. A practical Approach. McGraw-Hill. 1998.
- [9] A.A. Pesaran, A.Mills. Moisture transport in silica gel packed beds I. Experimental study. Int. J. Heat Mass Transfer 30. 1987.