



Scientia Et Technica

ISSN: 0122-1701

scientia@utp.edu.co

Universidad Tecnológica de Pereira

Colombia

FONSECA DIAZ, NÉSTOR; NIÑO SERNA, CLEMENCIA; GUTIÉRREZ, MANUELA
ESTUDIO DEL PROCESO DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE MEDIANTE SALES DISECANTES
EN APLICACIONES HVAC/R

Scientia Et Technica, vol. XV, núm. 42, agosto, 2009, pp. 69-74

Universidad Tecnológica de Pereira
Pereira, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84916714014>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

ESTUDIO DEL PROCESO DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE MEDIANTE SALES DISECANANTES EN APLICACIONES HVAC/R.

Study of the desiccant salts in air conditioned systems in HVAC applications.

RESUMEN

Este artículo presenta los resultados del estudio realizado como parte del análisis preliminar sobre el proceso de deshumidificación de aire mediante sales disecantes en climatización de recintos. El objetivo de este análisis es poder aplicar esta técnica en Colombia y países con condiciones climáticas similares.

Se describen los diferentes procesos de deshumectación del aire, de igual manera los tipos de sales disecantes más utilizados y sus propiedades, los diferentes procesos en que se pueden aplicar, los componentes y sistemas de funcionamiento en este tipo de aplicaciones.

PALABRAS CLAVES: Disecantes, HVAC, Control de humedad

ABSTRACT

This article presents the results of the study performed as a part of a preliminary analysis on the air conditioning process by desiccant salts with the objective to use this technique in Colombia and countries with similar climatic conditions.

The different types of desiccant processes are described as well as the different types of desiccant salts and their general properties, applications, components and functional systems in this type of applications.

KEYWORDS: Desiccants, HVAC, humidity control.

NÉSTOR FONSECA DIAZ

Profesor Asistente
Universidad Tecnológica de Pereira
nfonseca@utp.edu.co

CLEMENCIA NIÑO SERNA

Estudiante de Ingeniería Mecánica
Universidad Tecnológica de Pereira

MANUELA GUTIÉRREZ

Estudiante de Ingeniería Mecánica
Universidad Tecnológica de Pereira

1. INTRODUCCIÓN

El uso de sistemas de acondicionamiento de aire se ha hecho necesario en las regiones tropicales húmedas a pesar de los altos costos que dichos equipos implican en materia económica, energética y ambiental. Frecuentemente se debe controlar y modificar, además de la temperatura, el contenido de humedad del aire para asegurar el confort humano y algunos parámetros de calidad en procesos industriales.

En Colombia y países con condiciones ambientales similares, se presentan humedades relativas del orden del 70% en la mayoría de ciudades, alcanzando valores hasta del 98% en algunas zonas como el Chocó y la Amazonía. Los equipos de acondicionamiento de aire existentes en el mercado, logran reducir la humedad relativa en condiciones climáticas como las de Colombia a valores cercanos al 60%. Estos equipos, en su mayoría importados, están diseñados para operar en países con climas más secos, donde se pueden lograr fácilmente humedades del 50% (punto de confort humano según la norma de la "American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers" ANSI/ASHRAE 55). Sin embargo en condiciones como las de Colombia estos equipos no logran satisfacer las condiciones de confort ni el de otras aplicaciones donde se requiere valores cercanos al 40%. Esto último considerando que según las

normas y las pruebas realizadas por el "Bureau of Supplies and Accounts of the U.S. Navy", el 60% de humedad relativa es lo suficientemente bajo para controlar ataques microbiológicos no obstante el 40% de humedad relativa es un nivel seguro para controlar el deterioro de los materiales y equipos.

El proceso de deshumectación mediante serpentín de enfriamiento, con el cual se logra por lo general obtener humedades relativas bajas (inferiores al 50 %), es costoso al igual que los costos de operación y mantenimiento del sistema HVAC con este tipo de sistemas.

Se ha comprobado que en países donde se han implementado sistemas deshumectadores con sales disecantes, este tipo de equipos permiten reducir la humedad relativa a niveles por debajo del 40% proporcionando grandes ventajas en cuanto a eficiencia energética, bajo consumo de energía eléctrica y uso reducido de refrigerantes clorofluorocarbonados en comparación con el sistema convencional de deshumectación mediante serpentines de enfriamiento por condensación [1]. Este sistema permite además, a diferencia del sistema convencional por compresión mecánica, un control efectivo de la temperatura y la humedad relativa del recinto acondicionado, lo cual se

traduce en una mejor calidad del aire interior y confort térmico.

2. MÉTODOS DE DESHUMIDIFICACIÓN

Existen diferentes procesos para remover la humedad del aire: Enfriamiento por compresión mecánica de un fluido refrigerante, por compresión del aire y por último el uso de materiales desecantes.

Dentro de los métodos para deshumidificar mediante materiales o equipos desecantes se destacan los siguientes procesos (Figura 1): Deshumidificar y enfriar simultáneamente mediante desecantes líquidos (proceso A). Con desecantes sólidos se presentan dos procesos: Preenfriar y deshumidificar simultáneamente, después deshumidificar y por último enfriar (proceso B) y deshumidificar y luego enfriar (proceso C)

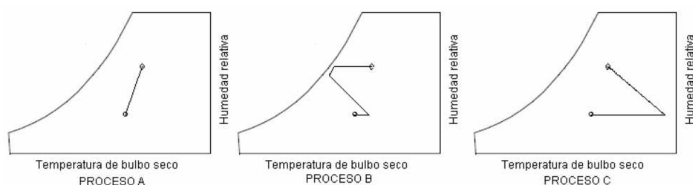


Figura 1. Procesos de deshumidificación mediante materiales desecantes.

Deshumidificación por enfriamiento.

El aire puede deshumidificarse con sistemas de aire acondicionado convencionales de compresión de vapor. Estos enfrían al aire a una presión constante hasta una temperatura inferior a la temperatura del punto de rocío, con lo cual se condensa parte del vapor de agua presente en el aire. Este tipo de deshumidificación es el más utilizado en los equipos de aire acondicionado comercial y residencial. Para realizar este proceso el evaporador, del sistema de compresión de vapor, debe operar a una temperatura más baja que la que es requerida para extraer la carga de calor sensible de enfriamiento del espacio acondicionado, esto hace que el sistema tenga bajos coeficientes de operación (COP). Además, algunas veces es necesario recalentar el aire para evitar un excesivo enfriamiento sensible del espacio acondicionado [2].

Usualmente, estos equipos no logran reducir la humedad relativa por debajo de 60% HR. El reducir aún más el contenido de humedad implica un aumento del costo del proceso.

Deshumidificación por compresión

En este proceso la deshumidificación ocurre cuando se comprime el aire atmosférico hasta lograr la condensación del vapor de agua contenido en él. Al comprimir aire se reduce su capacidad de retener humedad, la condensación resultante reduce el contenido de humedad del aire en términos absolutos pero produce

una condición de saturación (100% de humedad relativa a presiones elevadas). En aplicaciones a presión atmosférica, este método es muy costoso, pero vale la pena en sistemas presurizados como el aire comprimido en procesos industriales. Adicionalmente este tipo de proceso requiere enfriadores y/o deshumidificadores desecantes instalados después del compresor para evitar problemas asociados con humedad relativa elevada en las líneas de aire comprimido.

Deshumidificación mediante sales desecantes.

Las sales desecantes son sustancias químicas capaces de extraer o liberar vapor de agua del aire, en cantidades relativamente grandes con relación a su peso y volumen. El proceso físico que permite la retención o liberación de la humedad es la diferencia de la presión de vapor entre la superficie del desecante y el aire del ambiente.

Pueden ser clasificadas como adsorbentes (absorben la humedad sin experimentar cambios químicos o físicos) y absorbentes (absorben la humedad acompañados por cambios físicos o químicos). Pueden ser sólidos o líquidos.

Para poder re-usar el desecante es necesario regenerarlo, es decir, quitarle la humedad absorbida. La regeneración del desecante se logra calentándolo para incrementar su presión de vapor, mediante el contacto con una corriente de aire (de regeneración) que tiene una presión de vapor de agua más baja.

Los deshumidificadores desecantes en lugar de enfriar el aire hasta condensar su humedad, atrapan la humedad del aire al crear un área de baja presión de vapor en la superficie del desecante. La presión ejercida por el agua en el aire es más alta, por eso las moléculas de agua se desplazan desde el aire hacia el desecante.

Los deshumidificadores desecantes emplean los cambios en la presión de vapor de su superficie para secar el aire continuamente mediante un ciclo repetitivo de tres etapas:

La primera etapa, es la de absorción, en la cual el desecante frío y seco atrapa humedad del aire, a medida que va absorbiendo humedad se va calentando y humedeciendo hasta que su presión de vapor es igual a la del aire que lo rodea, a partir de ese momento, no puede absorber más agua. Luego el desecante es apartado del aire húmedo, calentado y colocado en un flujo de aire diferente, tiene ahora una presión de vapor muy alta en su superficie, la humedad sale de él, se llega a un punto en que el material adsorbente está seco pero caliente, este proceso es llamado desorción. Por último es necesario una etapa de enfriamiento para recobrar la baja presión del desecante y así reiniciar el ciclo.

Desecantes líquidos.

Los disecantes líquidos son sustancias higroscópicas que tienen como característica principal una baja presión de vapor. Las soluciones salinas son corrosivas y su uso incrementa el costo del equipo debido a que los materiales deben ser resistentes a la corrosión.

Los disecantes líquidos más usados son las soluciones acuosas de: bromuro de litio, cloruro de litio, cloruro de calcio, mezclas de esas soluciones y trietilen glicol.

El cloruro de calcio, es el disecante más común y económico, puede lograr contenidos de humedad de calidad a temperaturas por debajo de 15°C y presiones por encima de 250 psig. El cloruro de litio, que es más costoso, tiene una gama más amplia de operación: hasta 21°C y por encima de 100 psig. El Cloruro de litio se usa si la aplicación requiere una alta capacidad de eliminación de humedad con un mínimo uso de energía dentro de un amplio rango de niveles de humedad.

Disecantes sólidos.

Estructuralmente los adsorbentes tienen la forma de una esponja rígida. Retienen la humedad debido al campo eléctrico en la superficie del disecante. Este campo no es uniforme en su fuerza o carga, así atrae las moléculas de agua que tienen una carga neta opuesta sobre sitios específicos de la superficie del disecante.

La adsorción de este tipo de disecante depende de los siguientes factores: el área total de su superficie, el volumen total de sus capilares y el diámetro de sus capilares [2].

Dentro de los sólidos adsorbentes están: sílica gel, las zeolitas (tamices moleculares), las zeolitas sintéticas, la alúmina activada, el carbón activado, sales higroscópicas y los polímeros sintéticos.

El Gel de Silicio es dióxido de silicio (SiO_2), un tipo amorfo de silicio el cual es fabricado con silicato de sodio y ácido sulfúrico. Es un mineral purificado y procesado en forma granular. El gel de silicio es químicamente inerte y no es corrosivo.

Al igual que una esponja, los poros interconectados del gel de silicio forman una superficie que atrae y absorbe agua y vapor, permitiendo que el gel absorba cerca de 40% de su peso en vapor de agua al estar al 100% de capacidad.

Como disecante, el gel de silicio tiene poros con un tamaño promedio de 24Å. Retiene humedad a temperaturas hasta 104°C. A medida que la temperatura aumenta por encima de 38°C, el ritmo al cual el absorbe la humedad va disminuyendo aunque siga trabajando. El gel de silicio funciona mejor a temperatura ambiente entre 21°C a 32°C y en humedad relativa entre 60% y 90%.

El tamiz molecular es zeolita aluminosilicato metálico cristalino sintéticamente producido. El tamiz tiene partículas con estructura uniforme en los poros (creada durante el proceso de fabricación). Esto permite que el tamiz molecular pueda separar sus moléculas por tamaño. No es peligroso y es derivado de materiales de origen natural.

El tamiz molecular es el disecante especial para las aplicaciones más exigentes y complejas. La estructura del poro proporciona una capacidad para la absorción de agua más alta que el gel de silicio o arcilla a niveles muy bajos de humedad. El tamiz molecular también retiene un mayor porcentaje de humedad a temperaturas elevadas. De hecho, el tamiz molecular puede mantener la humedad a temperaturas por encima de 232°C.

El tamiz molecular es el más agresivo de los disecantes primarios (en términos de ritmo de absorción), por lo tanto tienen que considerarse algunos procedimientos de manejo adicionales.

Sistemas con disecantes sólidos

Los disecantes sólidos pueden ser usados como:

Paquetes no reactivados

Son usualmente usados para proteger componentes electrónicos, tabletas farmacéuticas y suministros. Se basan enteramente en la difusión de vapor para deshumidificar (el aire no es forzado a través del disecante). Este método es usado solo en aplicaciones donde no hay en lo absoluto carga de humedad demasiado alta debido a que su capacidad de absorción es rápidamente excedida. Los paquetes disponibles generalmente sirven como una forma de seguridad contra imprevistos.

Cartuchos periódicamente reactivados

Son usados donde la carga de humedad esperada es continua, pero muy pequeña. Un ejemplo común son los orificios de ventilación, el aire se seca mientras pasa a través del disecante, entonces la humedad no contamina el producto guardado. Cuando el disecante está saturado, el cartucho es removido y calentado en un horno para restaurar su capacidad de absorción de humedad. Los cartuchos de disecantes son usados donde no hay requerimiento de un control del nivel de humedad constante y donde la carga de humedad puede exceder la pequeña capacidad de un cartucho.

Deshumidificadores de reactivación continua

Los Deshumidificadores de reactivación continua son el tipo más común en aplicaciones con carga de humedad alta como sistemas de control de humedad para edificios y en procesos industriales. En estas unidades el aire de proceso húmedo es deshumidificado en una parte del

lecho disecante mientras una parte diferente del lecho es secada para re-usarse por una segunda corriente de aire (aire de reactivación). El disecante generalmente rota despacio entre estas dos corrientes de aire. Este tipo de equipos es generalmente llamado deshumidificador disecante-sólido rotatorio.

3. DESHUMIDIFICADOR DISECANTE-SÓLIDO ROTATORIO

Una rueda disecante típica es mostrada en la Figura 2. Su estructura, similar a la de una rueda entálpica. Vista en planta, la rueda asume la apariencia de un fino panal de abejas con muchos canales pequeños (Figura 3). Ésta estructura se caracteriza por ser ligera, durable y garantiza gran superficie de contacto entre el disecante y el aire. En la Figura 3. se muestran las configuraciones más usadas.

Se construye usualmente a partir de elementos hechos de láminas corrugadas planas de fibras de vidrio, papel o algunas veces aluminio. La lámina es fibrosa y está impregnada con disecante (sílica gel o zeolita (tamiz molecular)). El aire pasa a través de los canales formados a través de las capas de lámina, arreglados paralelamente al eje de la rueda. El dispositivo rota lentamente entre los dos flujos de aire: la humedad es removida del aire de proceso a través del disecante, después de una rotación parcial la porción de rueda saturada es regenerada por una corriente de aire tibia y seca (aire de regeneración) para que pueda ser re-usada. Un elemento fijo con una junta flexible separa los dos flujos de aire [3] Figura 4.



Figura 2. Detalles de la rueda disecante.

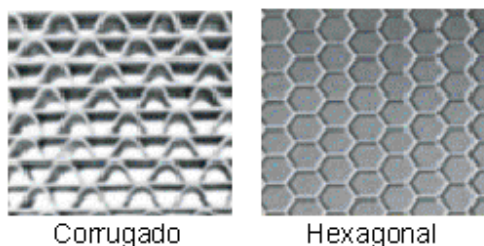


Figura 3. Configuraciones típicas.

Los canales, fuerzan la trayectoria del aire a lo largo del disecante concentrado. El disecante produce una atracción de las moléculas del aire a través de las microporosidades, basada esencialmente en el tamaño de los poros. De esta manera, el sílica gel y el tamiz molecular atraen mecánicamente el agua como una esponja.

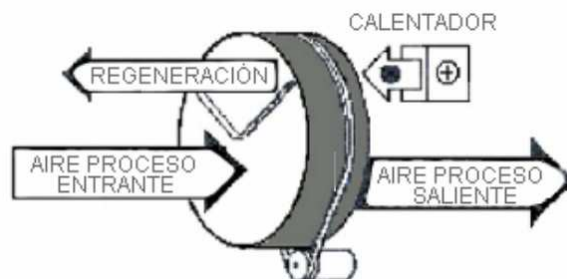


Figura 4. Rueda típica de deshumidificación rotatoria. [3]

Funcionamiento.

En los deshumidificadores disecante-sólido rotatorios, más de 20 variables pueden afectar su desempeño. En general, los fabricantes de equipos fijan la mayoría de éstas variables para proveer un desempeño aceptable en aplicaciones comunes para sales disecantes. Las variables primarias dejadas por definir para el diseñador del sistema son las siguientes para el aire de proceso y de regeneración:

- Temperatura del aire a la entrada
- Contenido de humedad
- Velocidad del aire a la entrada.

En algunos sistemas, estas variables cambian debido a las condiciones ambientales, a las variaciones de la carga de humedad y fluctuaciones en los niveles de energía de reactivación.

Cuando la velocidad a través del lecho disecante aumenta, es menor la cantidad de humedad que se puede retirar del aire. De igual manera, si una mayor masa de aire fluye a través de la rueda (mayor velocidad), el deshumidificador remueve más kilogramos de agua por hora. Esta relación explica porque en aplicaciones industriales en las cuales usualmente se requieren bajos puntos de rocío, generalmente usan menores velocidades a través del deshumidificador. Por otro lado en aplicaciones comerciales, en las cuales comúnmente se presentan cargas de humedad elevadas y puntos de rocío más bajos, se usan velocidades más altas a través del equipo disecante.

El contenido de humedad del aire de proceso a la entrada afecta el contenido de humedad a la salida. Por lo tanto si se requiere un contenido de humedad constante, el

deshumidificador necesita tener la capacidad de control, a menos que en la corriente de aire de proceso a la entrada no varíen las condiciones de temperatura y humedad en través del tiempo (una rara circunstancia).

La temperatura de entrada del aire de reactivación cambia el contenido de humedad a la salida del aire de proceso, cuanto más calor es agregado al aire de reactivación más seco quedará el disecante, lo que significa que puede atraer más humedad del aire de proceso.

Esta relación tiene dos consecuencias importantes, si el diseño necesita aire seco es generalmente más económico usar temperaturas altas en el aire de reactivación. En cambio, si la humedad a la salida del deshumidificador no necesita ser especialmente baja, fuentes de calor poco costosas (Ej. calor residual, calor de cogeneración, calor rechazado por los condensadores del los refrigeradores) pueden ser usados para la reactivación del disecante. [4]

Entre más humedad es removida mayor va a ser la temperatura del aire de proceso a la salida debido principalmente al calor de absorción de la humedad. El incremento en la temperatura es por tanto aproximadamente proporcional al incremento en la humedad removida.

4. SISTEMAS ADICIONALES DE ENFRIAMIENTO.

En la mayoría de aplicaciones del los deshumidificadores por disecantes, como el acondicionamiento de aire, se debe instalar un equipo para remover el exceso de calor sensible del aire de proceso después de la deshumidificación [5,6,7,8]. En aplicaciones de procesos industriales de secado, los deshumidificadores por disecantes son usados algunas veces sin un enfriamiento adicional porque el incremento en la temperatura de la deshumidificación ayuda al proceso. En aplicaciones de semiprosesos como en supermercados, el aire tibio de una unidad disecante no es una consideración mayor y ayuda a controlar la formación de escarcha.

Los deshumidificadores disecantes son usualmente usados para proveer aire a bajos puntos de rocío. Las aplicaciones que requieren grandes volúmenes de aire con contenidos de humedad bajos, son muy comunes y pueden ser fácilmente logradas mediante unidades disecantes rotatorias con una sola pasada, empezando con un contenido de humedad a la entrada alto. Algunas unidades disecantes comúnmente entregan aire a humedades bajas sin consideraciones de diseño especiales. Donde deben ser alcanzados puntos de rocío extremadamente bajos o donde las fugas de aire dentro de la unidad son considerables, dos deshumidificadores disecantes pueden ser puestos en serie, con el aire seco de una unidad alimentando el aire de proceso y de reactivación de la segunda unidad. La segunda unidad entrega aire muy seco, porque se reduce el riesgo de que

la humedad de la reactivación sea adicionada al aire de proceso cuando el aire seco es usado para reactivar la segunda unidad.

5. RECOMENDACIONES DE DISEÑO Y OPERACIÓN.

El mantenimiento requerido, es específico para cada tipo de equipo disecante. Cada sistema requiere en algunos casos un mantenimiento y rutina de operación diferentes.

Filtros del aire de proceso.

Si un disecante sólido está obstruido con partículas, el material tendrá que ser reemplazado prematuramente. Los filtros son mucho menos costosos y mucho más fáciles de cambiar que el disecante. Aunque cada aplicación es diferente, el disecante normalmente debe ser cambiado o reacondicionado después de 5 a 10 años de operación. Sin la debida atención a los filtros, la vida útil del disecante se puede reducir de 1 a 2 años [4].

En los filtros de reactivación o regeneración, el aire es filtrado antes de entrar al calentador de una unidad disecante. Si los filtros están obstruidos y el flujo de aire se reduce, el desempeño de la unidad se puede reducir porque no hay suficiente aire para cargar con toda la humedad existente en el disecante. Si elementos eléctricos o quemadores de gas son utilizados para calentar el aire, el reducir el flujo de aire puede dañarlos.

Ductos de reactivación o regeneración.

El aire que deja la sección de reactivación o regeneración es caliente y húmedo. Cuando las unidades están apenas empezando en aplicaciones con gran carga de humedad, el aire de reactivación puede estar cerca de la saturación e incluso contener gotitas de agua. Por lo tanto, el ducto que lleva el aire fuera de la unidad debe ser resistente a la corrosión, porque la condensación puede ocurrir dentro de los ductos, particularmente si los ductos pasan a través de áreas sin calentamiento en climas húmedos como el de Colombia. Si la condensación es probable, el ducto de trabajo debe ser diseñado con drenajes en puntos bajos o dispositivos que permitan que el condensado fluya fuera del ducto.

Fugas.

Todas las unidades disecantes producen aire seco en una parte del sistema. Si el aire húmedo se filtra dentro del ducto del aire seco o dentro de la unidad, la eficiencia del sistema se reduce. También se desperdicia energía si el aire seco se fuga a través de las conexiones de los ductos de distribución. Por esta razón, las conexiones en ductos para sistemas disecantes deben estar fuertemente selladas. En aplicaciones que requieren puntos de rocío muy bajos (menores -12°C), los ductos y el sistema

disecante casi siempre se prueban para verificar fugas a presiones mayores a las esperadas en operación normal.

Como el equipo disecante tiende a ser de construcción duradera, frecuentemente se perfora la carcasa de la unidad deshumidificadora para proveer soporte a tuberías, ductos o instrumentos. Por estas perforaciones eventualmente se fuga aire y/o disecante. Por lo tanto cualquier perforación en el sistema debe ser sellada fuertemente, usando medios mecánicos y componentes sellantes. Los sellantes deben ser seleccionados para las temperaturas de trabajo de la aplicación.

Control de flujo de aire.

Como se explicó anteriormente el desempeño de los deshumidificadores depende de que tan rápido pasa el aire a través del disecante; los cambios en la velocidad afectan el desempeño. Por lo tanto, es importante cuantificar el flujo de aire a través del proceso y las partes de la unidad de reactivación o regeneración. A menos que ambos flujos de aire sean conocidos, es imposible determinar si la unidad está operando correctamente. Además, si la velocidad excede el valor de la velocidad máxima de diseño, el aire puede llevarse partículas del disecante o gotitas fuera de la unidad y dentro del ducto del aire de suministro [9,10,11,12].

Muchas unidades disecantes están equipadas con un control manual o automático de "dampers" para regular la el flujo de aire. Si estos no son provistos con la unidad, deben ser instalados en algún lugar del sistema.

Las corrientes de aire de proceso y de regeneración o reactivación deben ser ajustadas correctamente después de que todos los componentes externos e internos del ducto han sido unidos, pero antes de que el sistema se ponga en funcionamiento.

Los instrumentos de flujo de aire miden el flujo volumétrico actual, el cual debe ser convertido a un flujo estándar para calcular el flujo másico. La mayoría de las corrientes de aire en un sistema con sales disecantes tienen temperaturas entre -20 y 150 °C, pero la temperatura puede variar significativamente a medida que el aire deja el disecante. Las lecturas de la temperatura del aire a lo largo del ducto deben ser promediadas para obtener cálculos "precisos". Las lecturas tomadas después del ventilador tienden a ser más uniformes, pero se deben hacer correcciones debido al calor añadido por el ventilador.

6. CONCLUSIONES

Se presenta en este artículo una descripción general de los diferentes procesos y equipos de deshumectación del aire por sales disecantes, los tipos de sales disecantes más utilizados y sus propiedades, los diferentes procesos en

que se pueden aplicar, componentes y sistemas de funcionamiento en este tipo de aplicaciones.

Se presentan adicionalmente algunas recomendaciones de diseño y operación del sistema como parte de un proyecto que busca implementar esta técnica en Colombia y países con condiciones climáticas similares.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] JAE-Weon Jeong, STANLEY A. Mumma. Practical thermal performance correlations for molecular sieve and silica gel loaded enthalpy wheels. ELSEVIER. Recibido 31 Marzo 2004; aceptado 21 Julio 2004; Disponible en línea 21 Septiembre 2004.
- [2] Thibaut Vitte. 2007. Thesis en Ingeniería civil. Instituto de ciencias aplicadas de Lyon. Capítulo 2. Estado del arte de la tecnología de disecantes en ciclo abierto.
- [3] MAZZEI Pietro, MINICHELLO Francesco, PALMA Daniele. HVAC dehumidification systems for thermal comfort: a critical review. ELSEVIER. Recibido 29 Noviembre 2003; aceptado 25 Julio 2004; Disponible en línea 23 Septiembre 2004.
- [4] ASHRAE HANDBOOK-HVAC Systems and Equipment. 2004. Chapter 6. Atlanta: American Society of Heating, Air-Conditioning and Refrigeration Engineers, Inc.
- [5] Simonson CJ., Besant rW. "Heat and moisture transfer in desiccants coated rotary exchangers: part 1. Numerical model HVAC and research. Vol 3 N°4 1997, pp 325-350.
- [6] MacLaine-Cross IL, Banks PJ., "Coupled heat and mass transfer in regenerators-prediccios using an analogy with heat transfer", International. J ournal of Heat and mass transfer, vol 15, 1972, pp1225-1242.
- [6] Munters (Klingenburg) fabricante de ruedas de secado . www.munters.com.
- [7] Hofker G., Eicker U., "Desiccants cooling with solar energy", publicado en CIBSE 2001.
- [8] Sahn K. Wang, "Handbook of air condition and refrigeration" 2000.
- [9] Niu J.L., "Developing a decoupled cooling and dehumidification air conditioning system" ISHAC 99, The 3rd international symposium on heating ventilating and air conditioning, November 17-19 1999, Shenzhen, China.
- [10] Meckler P.E., "Use of desiccant to produce cold air in gas-energized cold air HVAC system" ASHRAE transaction, 1990, vol 96 part 1, p 1257-1261.
- [11] Weixing Yuan, Yi Jiang, Lin Fu, 3 Feasability study of desiccant cooling combined heating. Cooling and power systems" ISHAC 99. The 3rd international symposium on heating ventilating and air conditioning, November 17-19 1999, Shenzhen, China.
- [12] Jain S., Dhar P.L., Kaushik S.C. "Evaluation of solid desiccants based evaporative cooling cycles for typical hot and humid claimates" International Journal of Refrigeration Vol 18 N° 5 1995, p 287-296.