

DESHIDRATACIÓN TÉRMICA – USO DEL DIAGRAMA PSICROMETRICO

El estudio de la deshidratación térmica que se incluye en este práctico se refiere a la eliminación de agua de los alimentos en forma de vapor por contacto con aire caliente a presión atmosférica, y el vapor de agua formado se elimina por medio del mismo aire.

El secado o deshidratación de alimentos se usa, casi exclusivamente, como técnica de conservación. Los microorganismos presentes en los alimentos no pueden crecer y multiplicarse en ausencia de agua y, en general, dejan de ser activos cuando el contenido de agua se reduce por debajo del 10% en peso. Además, muchas de las enzimas que causan cambios químicos en los alimentos no pueden funcionar sin agua. Esto hace que los alimentos deshidratados puedan almacenarse durante periodos bastantes largos.

Los métodos y procesos de secado se clasifican de diferentes maneras; se dividen en procesos de *lotes* o *batch*, cuando el material se introduce en el equipo de secado y el proceso se verifica por un periodo de tiempo; o *continuos*, si el material se añade sin interrupción al equipo de secado y se obtiene material seco con régimen continuo.

Para la resolución de problemas de deshidratación térmica es necesario efectuar cálculos que se basan en las propiedades de mezclas de vapor de agua y aire. Para estos cálculos se requiere conocer la concentración del vapor de agua en el aire en diversas condiciones de temperatura, las propiedades térmicas de estas mezclas y los cambios que se verifican cuando la mezcla se pone en contacto con agua o con sólidos húmedos para secarla.

Para comprender mejor el fenómeno de la deshidratación térmica es necesario repasar algunos conceptos:

La humedad absoluta H_a de una mezcla aire-vapor de agua se define como los kilogramos de vapor de agua por kilogramo de aire seco.

El aire saturado es aquel en el cual el vapor de agua está en equilibrio con el agua líquida en las condiciones dadas de presión y temperatura. La humedad de este aire se denomina humedad de saturación H_s .

El porcentaje de humedad relativa H_R es la cantidad de saturación de una mezcla de aire-vapor de agua y se expresa usando presiones parciales.

$$H_R = 100 \frac{p_A}{p_{AS}}$$

donde: p_A = la presión parcial del vapor de agua en el aire

p_{AS} = la presión de vapor del agua pura a la temperatura establecida.

La temperatura a la cual cierta mezcla de aire y vapor de agua está saturada se llama temperatura de punto de rocío, o simplemente punto de rocío.

El calor húmedo C_s es la cantidad de calor en J (o kJ) requerido para elevar la temperatura de un kilogramo de aire seco más el vapor de agua presente en 1K o 1°C. Las capacidades caloríficas del aire y el vapor de agua se pueden suponer constantes en el intervalo normal de temperaturas e iguales a 1,005 kJ/kg aire seco.K y 1,88 kJ/kg de vapor de agua.K, respectivamente. Por consiguiente, para distintas unidades:

$$C_s \text{ kJ/kg aire seco.K} = 1,005 + 1,88 H_a$$

$$C_S \text{ kcal/kg aire seco.}^\circ\text{C} = 0,24 + 0,45 H$$

El volumen húmedo V_H es el volumen total en metros cúbicos de 1 kg de aire seco más el vapor que contiene a 1 atm de presión y a la temperatura del gas. Usando la ley de los gases ideales, llegamos a:

$$V_H \text{ m}^3/\text{kg aire seco} = (2,83 \times 10^{-3} + 4,56 \times 10^{-3} H_a) T \text{ [K]}$$

Para una mezcla saturada de aire y vapor de agua, $H = H_S$, y V_H es el volumen saturado.

La gráfica de humedad o diagrama psicrométrico, representa muy convenientemente las propiedades de las mezclas de aire y vapor de agua a 1 atm de presión. En éstos se grafica la humedad H_a en función de la temperatura real de la mezcla de aire y vapor de agua (temperatura de bulbo seco).

La curva señalada como 100% y que corre hacia arriba y a la derecha, proporciona la humedad de saturación H_S en función de la temperatura.

Las líneas curvas por debajo de la línea de saturación de 100%, representan a las mezclas no saturadas con un porcentaje definido de humedad relativa H_R .

La serie de líneas, que corren hacia arriba y hacia la izquierda, se llaman *líneas de humidificación adiabática o líneas de saturación adiabática*. La temperatura de saturación adiabática o de bulbo húmedo se miden siguiendo las líneas de saturación adiabática hasta que interseque a la línea del 100% de saturación.

Una masa de aire en determinadas condiciones de estado físico puede representarse en el diagrama psicrométrico por medio de un punto.

EVOLUCIÓN DEL AIRE EN EL DIAGRAMA PSICROMETRICO

El aire puede ser sometido a cuatro procesos básicos que modifican su estado físico. Ellos son: calentamiento, enfriamiento, humidificación y deshumidificación.

Los dos primeros modifican su temperatura, los otros dos varían el contenido de vapor de agua presente en el aire.

Claro está que de acuerdo al método elegido para modificar la temperatura, se producirá o no al mismo tiempo una variación en la humedad absoluta y viceversa.

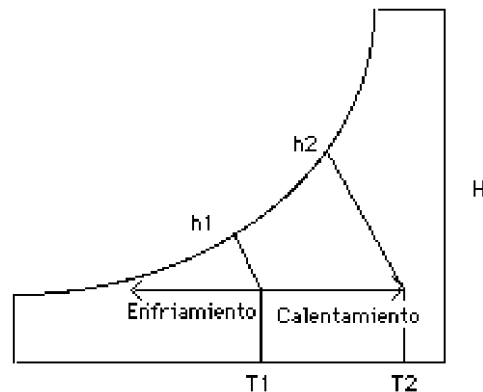
Calentamiento

Cuando una masa de aire al estado A es calentada por medio de una serpentina de caños metálicos dentro de los cuales circula vapor, se produce un aumento del calor sensible con la consiguiente elevación de temperatura. Dado que el **calentamiento** es indirecto o sea no existe incorporación o disminución de vapor de agua en el aire, la evolución se produce sobre **una línea de humedad absoluta constante**, llegando a calentarse el aire hasta las condiciones fijadas en el punto B.

Enfriamiento

Si hacemos pasar la masa de aire a través de una serpentina por la cual circula, por ejemplo, agua fría y la temperatura de agua es igual o superior a la del punto de rocío del aire, tendremos una evolución como la A-B de sentido inverso a la anterior. Aquí ha disminuido la temperatura del aire, sin que tenga lugar una condensación del vapor de agua.

Por lo tanto, sólo hemos quitado calor sensible al aire y nuevamente la evolución se traza sobre una recta paralela al eje de las abscisas pues no ha habido variación en la humedad absoluta del aire.



Nótese que en ambos casos descritos, si bien la humedad absoluta del aire ha permanecido constante no ha sucedido lo mismo con su humedad relativa.

Puede apreciarse en los diagramas que, en el caso del calentamiento, ha disminuido la H. R. del aire.

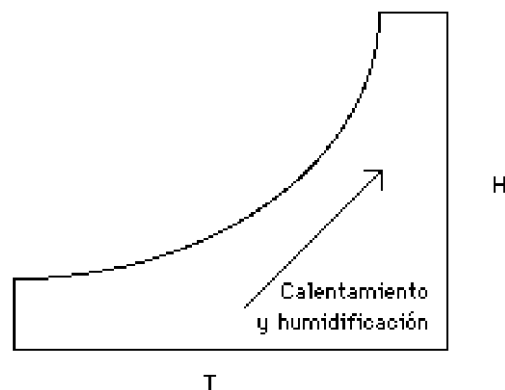
En el caso del enfriamiento, la humedad relativa del aire ha aumentado y si la serpentina tiene la suficiente capacidad de refrigeración, el aire puede llegar a salir saturado de la misma, es decir, con un 100% de H. R.

En este punto conviene especificar que cuando se habla de humidificación o deshumidificación de aire, ambos conceptos se refieren a los cambios en la humedad absoluta del aire o sea al contenido de vapor de agua en su masa, variando la humedad relativa de acuerdo al proceso.

Calentamiento y humidificación

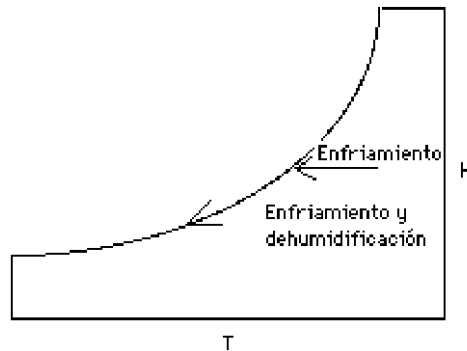
En el caso de querer calentar aire y aumentar al mismo tiempo su humedad absoluta (humidificación) se puede recurrir entre otros a un equipo “lavador de aire” que consiste en una batería de toberas que rocían agua sobre el aire que las atraviesa.

El agua debe ser calentado en forma permanente por una fuente externa (por ejemplo resistencia eléctrica sumergida en una batea), a fin de suministrar el calor necesario para entregar calor sensible al aire y elevar su temperatura. Al mismo tiempo, la masa de aire incrementará su humedad absoluta debido a la incorporación de una cantidad de agua que se evapora y mezcla con el aire.



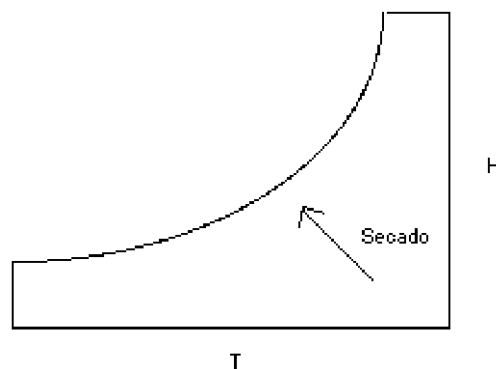
Enfriamiento y deshumidificación

En este proceso se necesita que el refrigerante que va a enfriar el aire esté trabajando a una temperatura menor que la temperatura de rocío del aire, de esta manera es indudable que además de producirse un enfriamiento del aire se produce una condensación del vapor de agua en la superficie del equipo refrigerante, con la consecuente disminución del contenido de humedad.



Secado adiabático

Este proceso se verifica durante el periodo de velocidad constante en el secado de los alimentos. Si el alimento es poroso, la mayor parte del agua que se evapora durante el periodo de velocidad constante proviene de su interior. Este periodo continúa mientras el agua siga llegando a la superficie con la misma rapidez con la que se evapora. La evaporación durante este periodo es similar a la que existe cuando se determina la temperatura de bulbo húmedo y en ausencia de transferencia de calor por radiación o conducción, la temperatura de la superficie del alimento equivale en forma aproximada a la temperatura de bulbo húmedo.



PROBLEMAS

- 1) El aire entra a un secador a temperatura de 65°C y punto de rocío de 23°C . Usando el diagrama psicrométrico, determine la humedad absoluta, la humedad relativa, el volumen húmedo de esta mezcla y el calor húmedo.
- 2) Una mezcla de aire y vapor de agua que se alimenta a un proceso de secado, tiene una temperatura de bulbo seco de 57°C y humedad de $0,030 \text{ kg agua/kg de aire seco}$. Usando el diagrama psicrométrico y las ecuaciones apropiadas, determine la humedad relativa, la humedad de saturación adiabática, el calor húmedo y el volumen húmedo.

3) Se desea acondicionar aire para secado que se encuentra a temperatura de bulbo seco de 38°C y temperatura de bulbo húmedo de 27°C , enfriándolo primero a 16°C para condensar el vapor de agua y después calentándolo a 24°C .

- a) Calcule la humedad absoluta y relativa iniciales.
- b) Calcule la humedad absoluta y relativa finales.

4) Para un determinado proceso que opera con temperatura y humedad controlada, se necesitan 7500 kg de aire seco/hora con humedad relativa del 20% y temperatura de bulbo seco de 55°C .

Este aire se ha de obtener acondicionando aire con 20% de humedad y 21°C de temperatura de bulbo seco, calentándolo primero, humidificándolo adiabáticamente hasta la humedad deseada y calentándolo finalmente hasta la temperatura de 55°C .

La etapa de humidificación se lleva a cabo en una cámara de pulverización. Suponiendo que el aire que sale de la cámara de pulverización está a 2°C por encima de la temperatura de saturación adiabática, calcular:

- a) Temperatura a la que hay que precalentar el aire.
- b) Temperatura a la que saldrá de la cámara.
- c) Cantidad de calor necesario para el precalentamiento.

Problema evaluativo

5) El aire entra a una cámara de enfriamiento adiabático a 32°C y 65% de humedad relativa. Se enfría por medio de un rocío de agua fría y se satura con vapor de agua en la cámara. Después de salir de ésta, se calienta a 28°C . Calcular:

- a) la humedad inicial del aire
- b) la humedad final después del calentamiento
- c) el calor necesario