

## MECANISMO DE INTERACCIÓN DEL AGUA Y DEL AIRE

A parte de los casos especiales de interacción como lo son los de temperatura de bulbo húmedo y líneas de enfriamiento adiabático, la solución completa de los balances de materia y energía y de la velocidad a la que ocurren tales procesos, se hace necesario una discusión más detallada del mecanismo de interacción antes del tratamiento matemático.

En el caso de una línea de enfriamiento adiabático, donde el agua permanece a temperatura constante de saturación, no existe gradiente de temperatura a través del agua, puesto que no existe flujo de calor sensible en el interior o desde la fase líquida. En la deshumidificación y enfriamiento del agua, sin embargo donde el agua está cambiando de temperatura, el calor fluye al interior o desde el agua y, por tanto existe un gradiente de temperatura.

Esto introduce una resistencia al flujo de calor en la fase líquida, debida a la película líquida. Por otra parte es evidente que aquí no existe resistencia a la transferencia de masa en la fase líquida, en ninguno de los dos casos, puesto que no existe gradiente de concentraciones en el agua pura.

Es importante obtener una visión correcta de las interrelaciones de transferencia de calor y de vapor de agua para todos los procesos aire-agua. En las siguientes figuras, las distancias medidas perpendicularmente a la interfase se toman como abscisas y humedades como ordenadas. En todos los casos:

$T_L$ : temperatura de la masa de agua

$T_i$ : temperatura de la interfase

$T_G$ : temperatura de la masa de aire

$Y_i$ : humedad en la interfase

$Y_G$ : humedad de la masa de aire

Las flechas de rayas discontinuas representan la transferencia de vapor de agua en el interior del gas y las flechas de trazo lleno representan el flujo de calor (latente y sensible) a través de los dos aire y agua en la superficie de separación de las fases. En todos los casos  $T_i$  y  $Y_i$  representan las condiciones de equilibrio y son las coordenadas del punto o puntos que están situados sobre la línea de saturación en el gráfico de humedad de la siguiente figura:

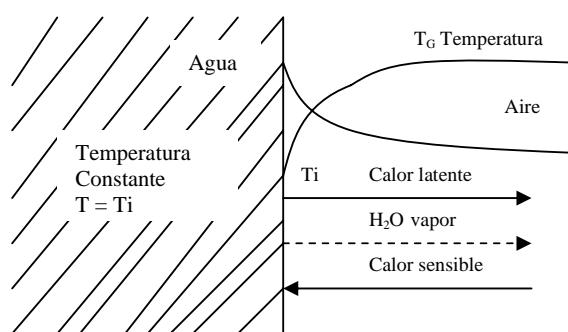


Figura 1. Condiciones en un humidificador adiabático. Temperatura constante del líquido

El caso más sencillo de humidificación con agua a temperatura constante está representado en la figura 1. En este caso el flujo de calor latente desde el agua equilibra exactamente al calor sensible que fluye desde el aire al agua, y no existe gradiente de temperatura en ésta. La temperatura del aire  $T_G$  debe ser mayor que la temperatura de la

superficie de separación entre fases para que el calor sensible pueda fluir a esta superficie, y  $Y_i$  debe ser más elevada que  $Y_g$  con objeto de que el aire se pueda humidificar.

Las condiciones que se presentan en cualquier punto de un deshumidificador, están representadas en la figura 2.

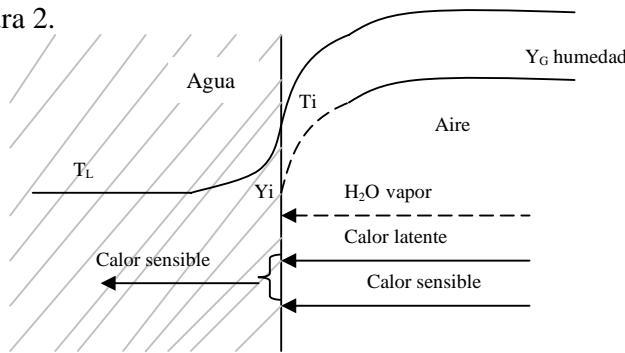


Figura 2. Condiciones en un deshumidificador

En este caso  $Y_g$  es más elevada que  $Y_i$  y, por tanto, el vapor de agua debe difundirse a la superficie de separación entre fases. Puesto que  $T_g$  y  $Y_i$  representan el aire saturado,  $T_g$  debe ser mayor que  $T_i$  o la masa de aire estará sobresaturada con vapor de agua.

La consecuencia directa de este razonamiento es la conclusión de que la humedad puede extraerse del aire no saturado por contacto directo con cantidad suficiente de agua fría sin tener que llevar primeramente el aire a saturación.

Como resultado de los gradientes de temperatura y humedad, la superficie de separación está recibiendo simultáneamente calor sensible y vapor de agua del aire. La condensación del agua libera calor latente y estos dos calores, sensible y latente se transmiten al agua. Esto precisa una diferencia de temperatura  $T_g - T_i$  a través de la fase líquida.

Las condiciones en una torre de enfriamiento en contracorriente dependen de que la temperatura del agua sea más elevada que la temperatura del termómetro seco del aire o que esté entre las temperaturas de los termómetros seco y húmedo.

En el tope o parte superior de una torre de enfriamiento las condiciones vienen dadas por la figura 3.

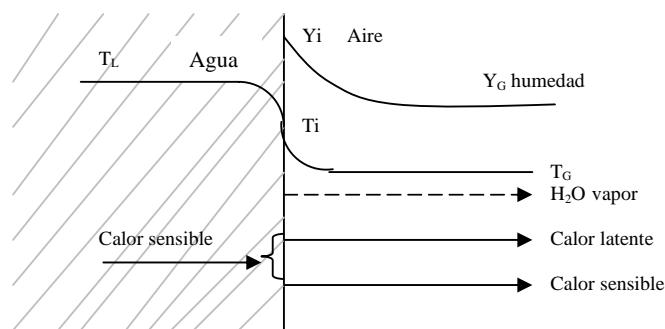
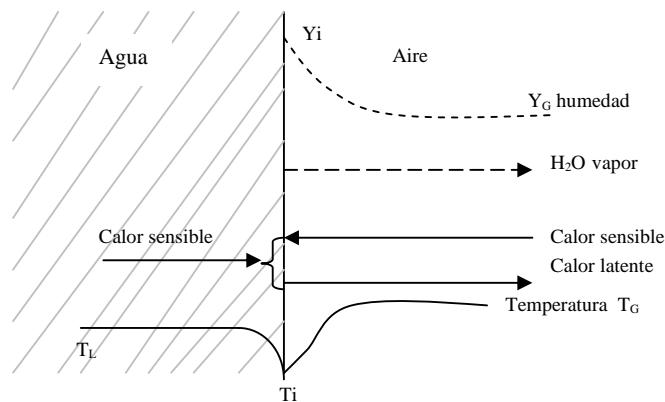


Figura 3. Condiciones en la parte superior de una torre de enfriamiento

En este caso el flujo de calor y de material (y por tanto la dirección de los gradientes de humedad y temperatura) es exactamente inverso al de la figura 2. El agua se enfriará tanto por evaporación como por transmisión de calor sensible; los gradientes de

humedad y temperatura de la película de aire disminuyen en dirección de la superficie de separación con el aire, y el gradiente de temperatura  $T_L - Ti$  a través del agua dará como resultado una velocidad de transferencia de calor suficientemente alta para transferir estos dos calores.

En la parte inferior de una torre de enfriamiento, donde la temperatura del agua es más elevada que la de bulbo húmedo del aire, pero que puede ser más baja que la de bulbo seco, las condiciones que se indican en la figura 4 son las que prevalecen.



**Figura 4. Condiciones en la parte inferior de una torre de enfriamiento**

En este caso, el agua se enfriá; por tanto la interfase debe estar más fría que la masa de agua y el gradiente de temperatura a través del agua es hacia la superficie de separación ( $Ti$  es menor que  $T_L$ ). Por otra parte, puesto que el aire se humidifica adiabaticamente, deberá existir un flujo de calor sensible desde la masa de aire a la interfase ( $T_G$  es mayor que  $Ti$ ). La suma del calor que fluye desde la masa del agua a la interfase y desde la masa de aire a la misma superficie, da como resultado una evaporación en la interfase y el vapor resultante se difunde en el aire ( $Yi$  es mayor que  $Y_G$ ). Este flujo de vapor de agua transporta desde la interfase como calor latente todo el calor suministrado a dicha superficie por ambos lados de ella como calor sensible. El gradiente de temperatura que resulta  $T_L - Ti - T_G$  tiene la forma de V, como se indica en la figura 4.