

Física ambiental

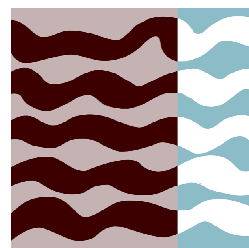
Prácticas: UD1 & UD2

Las variables de estado del aire húmedo

Ingeniería agrónoma grado en hortofruticultura y jardinería



Universidad
Politécnica
de Cartagena



ETSIA
Cartagena

Jorge Cerezo Martínez



2. Ejercicios a resolver

2.1. Ejercicio 1

El estado inicial del aire de una cámara es de $T_1 = 15^\circ\text{C}$ y la humedad relativa $HR_1 = 65\%$. Cuando se aplica calor sensible, con un sistema de calefacción, el aire alcanza $T_2 = 20^\circ\text{C}$ y $HR_2 = 48\%$.

- Calcular la humedad absoluta del aire q , g/kg en el estado inicial (1) y en el estado final (2).
- Calcular el incremento de entalpía total (ΔE_t , kJ/kg) que supone el paso del estado 1 al estado 2.

1. Hallar la humedad absoluta q , g/kg

- Sabemos que para 15 y 20°C la humedad específica a saturación es de 11 y 15 g/kg. Sabemos también que la humedad relativa es la humedad que contiene una masa de aire en relación con la máxima humedad absoluta que podría admitir sin condensarse, por tanto:

$$HR = \left(\frac{q_a}{q_{*s}} \right) \cdot 100$$

$$65 = \frac{q_{a1}}{11} \cdot 100 \rightarrow 7,15 \text{ g/kg} = q_{a1}$$

$$48 = \frac{q_{a2}}{15} \cdot 100 \rightarrow 6,75 \text{ g/kg} = q_{a2}$$

2. Hallar el incremento de entalpía total ΔE_t , kJ/kg

- Entalpía sensible

$$E_s = \underbrace{c_{pa} \cdot T_a}_{\text{del aire}} + \underbrace{c_{p,ag} \cdot \frac{q_a}{1000} \cdot T_a}_{\text{del agua}}$$

Siendo:

$$c_{pa} = 1,1 \text{ kJ/kg aire } ^\circ\text{C}$$

$$c_{p,ag} = 1,81 \text{ kJ/kg aire } ^\circ\text{C}$$

$$E_{s1} = 1,1 \cdot 15 + 1,81 \cdot \frac{7,15}{1000} \cdot 15 = 16,6941 \text{ kJ/kg}$$

$$E_{s2} = 1,1 \cdot 20 + 1,81 \cdot \frac{6,75}{1000} \cdot 20 = 22,24 \text{ kJ/kg}$$

- Entalpía latente

$$E_L = \lambda \frac{q_a}{1000} \quad \text{siendo } \lambda = 2501,3 \text{ kJ/kg}$$

$$E_{L1} = 2501,3 \cdot \frac{7,15}{1000} = 17,8842 \text{ kJ/kg}$$

$$E_{L2} = 2501,3 \cdot \frac{6,75}{1000} = 16,8837 \text{ kJ/kg}$$

- Entalpía total

$$E_T = E_s + E_L$$

$$E_{T1} = 16,6941 + 17,8842 = 34,5783 \text{ kJ/kg}$$

$$E_{T2} = 22,24 + 16,8837 = 39,1237 \text{ kJ/kg}$$

$$E_{T2} - E_{T1} = 39,1237 - 34,5783 = 4,5454 \text{ kJ/kg}$$

2.2. Ejercicio 2

La tensión de vapor actual del aire de una cámara es $e_a = 2\text{kPa}$. Explicar si puede producirse condensación sobre la cara interna de la pared de la cámara cuando la temperatura de la pared es $T_p = 20^\circ\text{C}$.

Para que se produzca saturación $e_{*s}(T_p) \leq e_a$ por ello a $T = 20^\circ\text{C}$:

$$e * _s (T_p) = 0,6107 \cdot e^{\frac{17,27 \cdot 20}{20+237}} = 2,3378 \text{ kPa}$$

No se produce condensación en la pared

2.3. Ejercicio 3

Sea una cámara con una temperatura de aire $T_a = 29^\circ\text{C}$ y una humedad relativa $HR_a = 50\%$. Explicar si es posible disminuir el contenido de vapor de agua del aire interior cuando se mezcla con aire exterior cuya temperatura es $T_o = 19^\circ\text{C}$ y humedad relativa $HR_o = 50\%$

- Sabemos que a 29 y 19°C la humedad específica es 27 y 14 g/kg

$$HR_a \rightarrow 50 = \left(\frac{q_a}{27}\right) \cdot 100 \rightarrow q_a = 13,5 \text{ g/kg}$$

$$HR_o \rightarrow 50 = \left(\frac{q_a}{14}\right) \cdot 100 \rightarrow q_a = 7 \text{ g/kg}$$

Sí, disminuye su contenido en vapor de agua al entrar en contacto una masa con la otra. Aunque las humedades relativas sean iguales la temperatura de la cámara es mayor y admite una humedad absoluta mayor, por el contrario la masa de aire exterior admite una menor cantidad de humedad absoluta.

2.4. Ejercicio 4

El aire interior de dos cámaras presenta valores diferentes de temperatura y de humedad relativa:

Cámara (1): $T_{a1} = 20^\circ\text{C}$, $HR_{a1} = 60\%$

Cámara (2): $T_{a2} = 10^\circ\text{C}$, $HR_{a2} = 90\%$

- Calcular la humedad absoluta del aire de la cámara 1 (q_{a1}) y de la cámara 2 (q_{a2}) en g/kg .
 - Calcular la humedad relativa que tendría que tener el aire de la cámara 1 para que su humedad absoluta sea igual a la cámara 2.
 - Comentar los resultados.
1. Calcular la humedad absoluta, sabemos que la humedad específica de 20 y 10°C es 15 y 8g/kg

$$HR_{a1} \rightarrow 60 = \frac{q_{a1}}{20} \cdot 100 \rightarrow \frac{60 \cdot 20}{100} = q_a \rightarrow q_a = 12 \text{ g/kg}$$

$$HR_{a2} \rightarrow 90 = \frac{q_{a2}}{10} \cdot 100 \rightarrow \frac{90 \cdot 10}{100} = q_a \rightarrow q_a = 9 \text{ g/kg}$$

2. Humedad relativa entre 1 con respecto a 2

$$q_{a1} = q_{a2} \rightarrow HR_{a1} = \frac{9}{20} \cdot 100 \rightarrow HR_{a1} = 45\%$$

3. Comentar el resultado: Un contenido del 90% de HR a 10° supone la mitad de contenido en vapor de agua a 10°C más, es decir, un 45% a 20°C . La humedad relativa no es un valor fiable a la hora de comparar el contenido en vapor de agua con otras atmósferas a diferente temperatura, mismos valores pueden tener contenidos muy distintos de humedad absoluta.

2.5. Ejercicio 5

Calcular la humedad relativa del aire cuando se conoce la temperatura seca y la temperatura húmeda.

- Se utiliza la ecuación psicrométrica

$$e^*_{s}(T_h) = 0,6107 \cdot e^{\frac{17,27 \cdot T_h}{237,3 + T_h}} \left. \begin{aligned} e_a = e^*_{s}(T_h) - \gamma(T_a - T_h) \\ \end{aligned} \right\} HR = \left(\frac{e_a}{e^*_{s}(T_h)} \right) \cdot 100 \rightarrow \frac{e^*_{s}(T_h) - \gamma(T_a - T_h)}{e^*_{s}(T_h)} \cdot 100 \rightarrow$$
$$\rightarrow HR = \left(1 + \frac{-\gamma(T_a - T_h)}{e^*_{s}(T_h)} \right) \cdot 100$$

2.8. Ejercicio 8

A un instante inicial el aire de una cámara tiene las características siguientes: $T_1 = 30^\circ\text{C}$, $HR_1 = 30\%$. Se pide calcular la humedad absoluta (q , g/kg), la tensión de vapor real (e , kPa), la temperatura (t , $^\circ\text{C}$) y la humedad relativa (HR , %) cuando se extraen de la masa de aire inicial 8 kJ/kg .

- Sabemos que a 30°C la humedad específica es 30 g/kg . Hemos de calcular la entalpía de la masa, para ello, calculamos la humedad específica y la sustituiremos en la fórmula de la entalpía total.

$$30 = \frac{q_a}{30} \cdot 100 \rightarrow q_a = 9 \text{ g/kg}$$

$$ET = c_{pa} \cdot T_a + c_{p,ag} \cdot \frac{q_a}{1000} \cdot T_a + \lambda \cdot \frac{q_a}{1000} \rightarrow 1,81 \cdot 30 + 1,1 \cdot \frac{9}{1000} \cdot 30 + 2500 \cdot \frac{9}{1000} \rightarrow$$
$$\rightarrow 77,1 \text{ kJ/kg} \rightarrow 77,1 - 8 = 69,1 \text{ kJ/kg}$$

- El proceso puede transcurrir a temperatura constante ó humedad constante, se establece que la humedad será constante.

$$69,1 = 1,81T + 1,1 \cdot \frac{9}{1000} \cdot T + 2500 \cdot \frac{9}{1000} \rightarrow 69,1 - 22,5 = 1,81T + 0,0099T \rightarrow$$
$$\rightarrow 46,6 = 1,82T \rightarrow \frac{46,6}{1,82} \rightarrow T = 25,6^\circ\text{C}$$

- Para $25,6^\circ\text{C}$ la humedad específica es 22 g/kg

$$HR = \frac{9}{22} \cdot 100 \rightarrow 41\%$$
$$e_{real} = 0,6107 \cdot e^{\frac{17,27 \cdot 25,6}{237,3 + 25,6}} \rightarrow 3,28 \text{ kPa}$$

2.9. Ejercicio 9

En una cámara la temperatura del aire es $T_a = 15^\circ\text{C}$, su humedad relativa es $HR_a = 90\%$. La temperatura de los frutos es $T_f = 12^\circ\text{C}$. Se pide dar una explicación coherente de lo que va a ocurrir con las condiciones de temperatura y humedad que se dan en el enunciado

- Sabemos que a 15 y 12°C la humedad específica es 11 y 9 g/kg

$$90 = \frac{q_a}{11} \cdot 100 \rightarrow 9,9 \text{ g/kg} \therefore \text{a } 12^\circ\text{C} \rightarrow \frac{9,9}{9} \cdot 100 = 110\% \text{ HR}$$

Se forma rocío en la superficie de la fruta ya que a misma humedad absoluta satura con la nueva temperatura

2.10. Ejercicio 10

Sea un embalse de riego cubierto con una malla de plástico para reducir la evaporación. La temperatura del agua es $T_{ag} = 10^\circ\text{C}$. La temperatura del aire bajo la malla es $T_a = 20^\circ\text{C}$ y su humedad relativa $HR_a = 80\%$. Considere que a nivel de la superficie del agua el aire está saturado de humedad. Se pide:

- Determinar la temperatura de punto de rocío del aire T_r ($^\circ\text{C}$)
 - Determinar la presión de vapor del aire en contacto con la presión del agua y la presión de vapor del aire. Calcular el déficit de presión de vapor entre el aire ambiente y el aire en la superficie del agua (VPD).
 - Dar una explicación razonada de la influencia que ejerce la mala sobre la humedad relativa del aire.
- Calculamos la humedad absoluta sabiendo que la específica a 20°C es 14 g/kg , la temperatura húmeda.

$$80 = \frac{q_a}{14} \cdot 100 \rightarrow 11,2 \text{ g/kg} = q_a$$

$$T_h = T_a - [0,2726T_a + q_a(-1,569 + 0,04316T_a - 0,000342T_a^2) + 0,003606T_a^2 - 0,00006374T_a^3 + 5,864] \rightarrow T_r = 18,5^\circ\text{C}$$

- Utilizamos la ecuación psicrométrica

$$e^*_{s}(T_{ag}) = 0,6107 \cdot e^{\frac{17,27 \cdot 10}{237,3 + 10}} \rightarrow 1,23 \text{ kPa}$$

$$e^*_{s}(T_a) = 0,6107 \cdot e^{\frac{17,27 \cdot 20}{237,3 + 20}} \rightarrow 2,34 \text{ kPa}$$

$$\text{DPV} = 2,34 \text{ kPa} - 1,23 \text{ kPa} = 1,11 \text{ kPa}$$

- La malla hace aumentar la temperatura del aire contenido entre ésta y el agua, crece por tanto el déficit de presión de vapor y la masa de agua desprende vapor hacia el aire de la malla

Recalcular la presión de vapor del aire de en la superficie del agua para $T_{ag} = 20^\circ\text{C}$. Calcular el déficit de presión de vapor entre el aire ambiente y el aire en la superficie del agua (VPD). Explicar cuál es el efecto de un aumento de T_{ag} sobre la humedad relativa del aire.

$$e^*_{s}(T_a) = 0,6107 \cdot e^{\frac{17,27 \cdot 20}{237,3 + 20}} \rightarrow 2,34 \text{ kPa}$$

$$\text{DPV} = 2,34 \text{ kPa} - 2,34 \text{ kPa} = 0 \text{ kPa}$$

El efecto es que no se produce evaporación de agua del estanque