

GASES IDEALES Y HUMEDAD ATMOSFERICA

- (a) El "Aire" es una mezcla de **aire seco** ($M_d = 29 \text{ g/mol}$) y **vapor de agua** ($M_v = 18 \text{ g/mol}$).
 Luego $p = p_d + e$; en que p_d es la presión parcial del aire seco y e la del vapor de agua
 (b) **Ecuaciones de estado:** Vapor de agua $e = \rho_v R_v T$ en que $R_v = R^*/M_v = 0.461 \text{ [Joule mol}^{-1} \text{ }^\circ\text{K}^{-1}]$. Aire seco $p_d = \rho_d R_d T$ en que $R_d = R^*/M_d = 0.286 \text{ [Joule mol}^{-1} \text{ }^\circ\text{K}^{-1}]$.

- **Humedad absoluta:** $\rho_v = e/R_v T = 217 e/T$, con e en [hPa] y T en [$^\circ\text{K}$]. (ver expresión aproximada en capítulo anterior para calcular e en función de la humedad relativa y la temperatura):

Cuando el Aire está "saturado" de vapor de agua tiene un e (max) = e_s que depende solo de la temperatura: $e_s(T) = \text{ecuación de Clausius-Clapeyron}$:

$$\frac{1}{e_s} \frac{de_s}{dT} = \frac{L_{lv}}{R_v T^2}$$

en que L es el calor latente asociado a un cambio de fase: $L_{lv} = 2500 \text{ [Joule g}^{-1}]$

para cambio de fase líquida a vapor. Para cambio de sólido a vapor $L_{iv} = 2834 \text{ [Joule g}^{-1}]$

T	-40	-20	0	20	40	[$^\circ\text{C}$]
e_s (agua)	0.189	1.25	6.11	23.37	73.78	[hPa]
e_s (hielo)	0.128	1.03	6.11			[hPa]

- **Razón de mezcla:** $r = \frac{\rho_v}{\rho_d} = \frac{e R_d}{p_d R_v} = \frac{e}{p - e} 0.622$; $r_s = 0.622 \frac{e_s}{p - e_s}$

- **Humedad relativa:** $HR = \frac{r}{r_s} = \frac{e(p - e_s)}{e_s(p - e)} \cong \frac{e}{e_s}$

- **Humedad específica:** $q = \frac{\rho_v}{(\rho_d + \rho_v)} = \frac{0.622 e}{p - 0.378 e}$. Como en general $p \gg e$, $q \sim r$

- **Temperatura virtual T_v :** es la temperatura que una muestra de aire seco a la presión p tendría que tener para que su densidad fuese igual a la de una muestra de aire húmedo a la presión p , temperatura T y razón de mezcla r . La T_v permite escribir la ecuación de estado para el aire húmedo como: $p = \rho R_d T_v = \rho R_M T$ en que $R_M = R_d(1 - q) + R_v q$.

$$T_v = T(1 - q + \frac{R_v}{R_d} q) = T(1 + 0.608 q)$$

en que $R_v/R_d = 1.608$.

- **Temperatura del punto de rocío T_d :** Al enfriar aire inicialmente a temperatura T y presión parcial e (que se conserva durante el enfriamiento), en un proceso a presión constante, se alcanza la saturación a T_d , donde $e = e_s(T_d)$. (Ecuación de Clausius-Clapeyron)

Principio de la conservación de la energía (1er. Principio de la Termodinámica).

$$\Delta H = m c_v \Delta T + p \Delta V$$

en que c_v = calor específico a volumen constante.

por unidad de masa: $\Delta h = c_v \Delta T + p \Delta \alpha$, en que $\alpha = \frac{1}{\rho}$ = volumen específico.

alternativamente: $\Delta h = c_p \Delta T - \alpha \Delta p$ en que $c_p = R + c_v$ = calor específico a presión constante.

Curva de Clausius-Clapeyron:

- Note la rapidez con que aumenta la presión parcial de saturación del vapor de agua e_s (hPa = mb) con la temperatura T ($^{\circ}C$)
- Note que para temperaturas bajo 0 ($^{\circ}C$) existen dos presiones parciales de saturación del vapor de agua: a) vapor de agua en equilibrio sobre agua líquida sobre-enfriada y b) vapor de agua en equilibrio sobre hielo (ice). Esta última va por debajo de la anterior, es decir, un aire saturado sobre agua líquida sobre-enfriada esta supersaturado sobre hielo, y viceversa.
- Esta misma curva se puede usar para la temperatura del punto de rocío T_d : en lugar de T se pone T_d . y en lugar de e_s se pone e

The vapor pressure of ice and water between -30° and 30° (mb = millibar). (Berner and Berner 1987)

