



# Taller sobre medición de humedad en gases

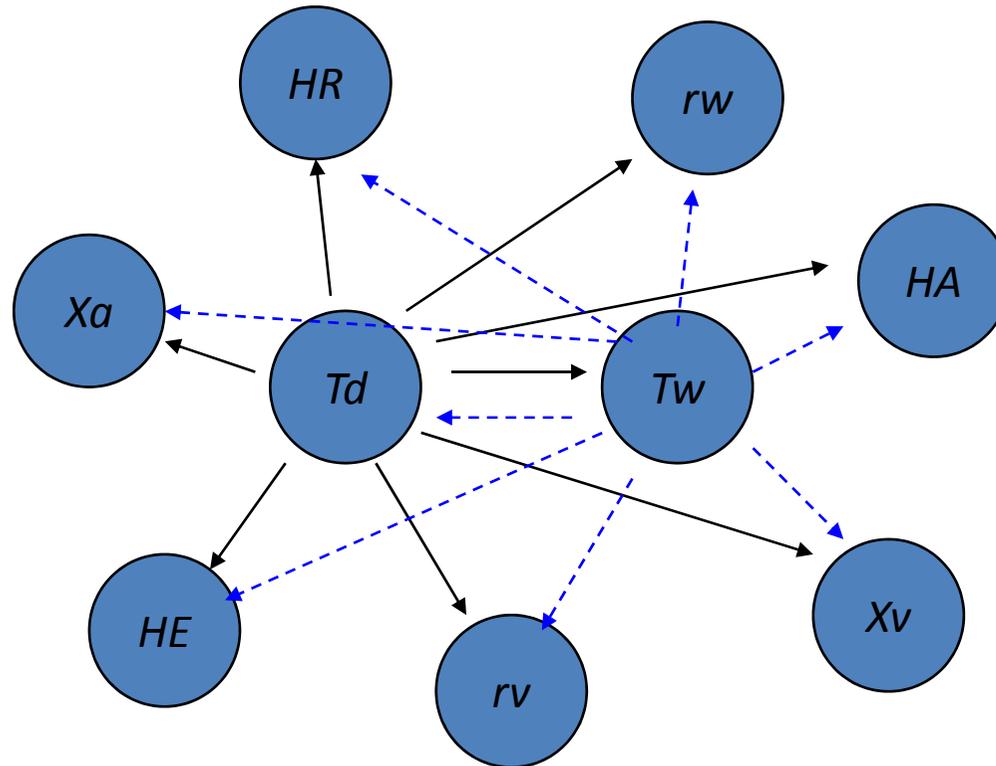
Jesus A. Davila  
Lab. Humedad / CENAM  
jdavila@cenam.mx

# Contenido

- Introducción
- Conversión entre humedad relativa y temperatura de punto de rocío.
- Efecto de presión en la temperatura de punto de rocío.
- Conclusiones

Conversión entre  $HR$  y  $td$

# Relación entre las magnitudes de humedad

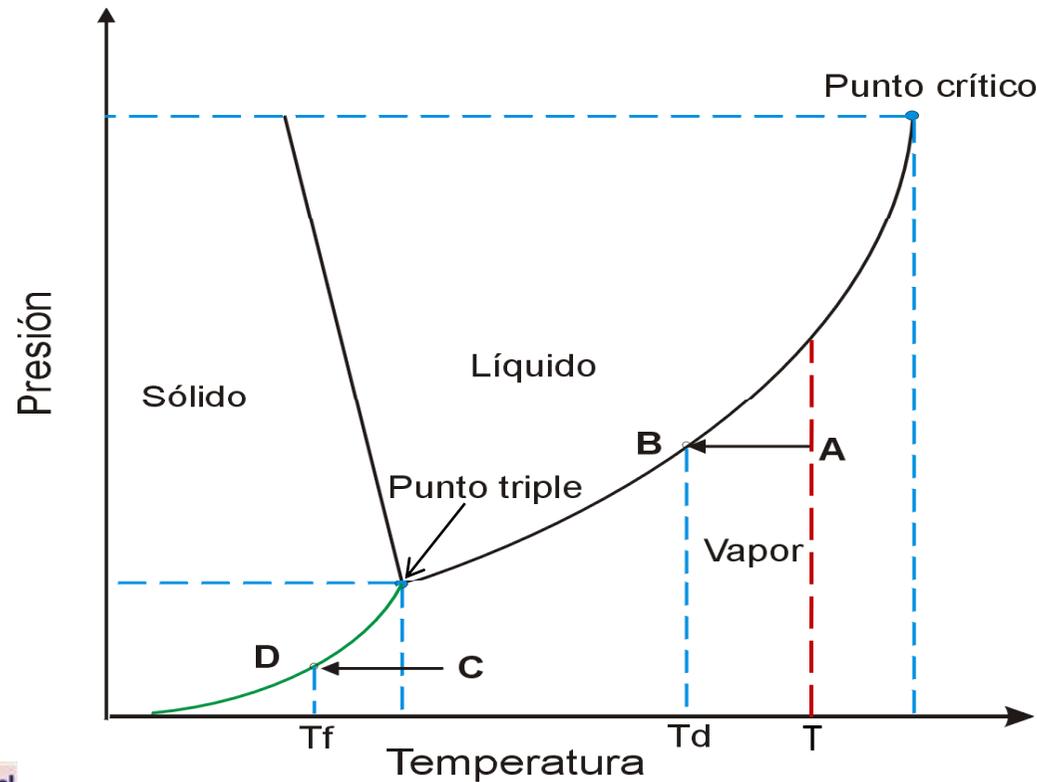


# Temperatura de punto de rocío

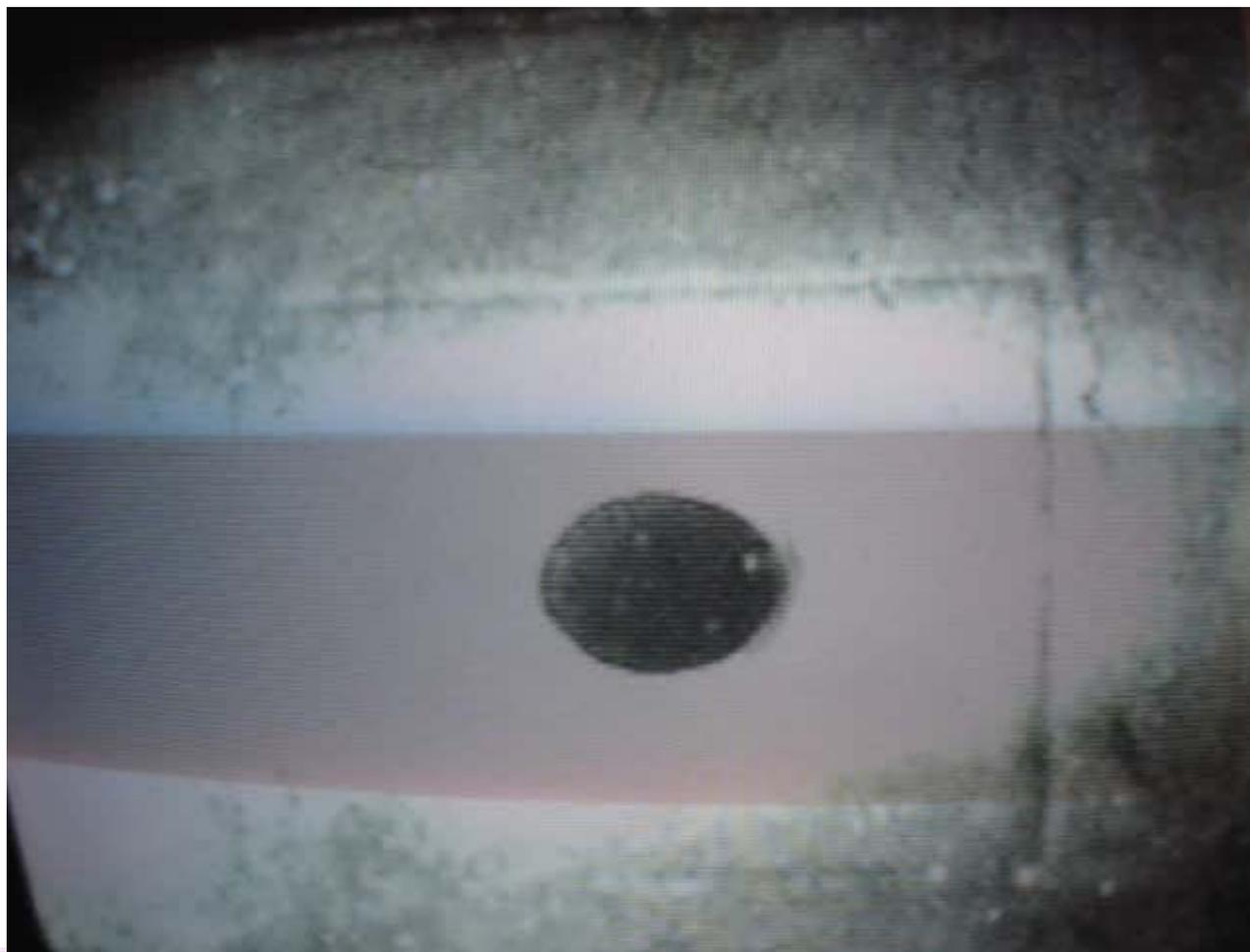
- **Temperatura de punto de rocío o escarcha**

Temperatura a la cual la mezcla gas-vapor de agua debe ser enfriada isobáricamente para inducir condensación o solidificación.

En esta condición, la presión de vapor de agua alcanza su condición de saturación.



# Medidor de temperatura de punto de rocío



# Introducción

- **Presión de saturación de vapor de agua: Ecuaciones de aproximación para la fase líquida**

$$e(T_d) = \exp\left(\sum_{i=0}^6 a_i T_d^{i-2} + a_7 \ln T_d\right), \text{ en Pa}$$

	Wexler (1976, 1977)	Sonntag (1990)	Hardy (1998)
$a_0$	$-2,9912729 \cdot 10^3$	0	$-2,8365744 \cdot 10^3$
$a_1$	$-6,0170128 \cdot 10^3$	$-6,0969385 \cdot 10^3$	$-6,028076559 \cdot 10^3$
$a_2$	$1,887643854 \cdot 10^1$	$2,12409642 \cdot 10^1$	$1,954263612 \cdot 10^1$
$a_3$	$-2,8354721 \cdot 10^{-2}$	$-2,711193 \cdot 10^{-2}$	$-2,737830188 \cdot 10^{-2}$
$a_4$	$1,7838301 \cdot 10^{-5}$	$1,673952 \cdot 10^{-5}$	$1,6261698 \cdot 10^{-5}$
$a_5$	$-8,4150417 \cdot 10^{-10}$	0	$7,0229056 \cdot 10^{-10}$
$a_6$	$4,4412543 \cdot 10^{-13}$	0	$-1,8680009 \cdot 10^{-13}$
$a_7$	2,858487	2,433502	2,7150305
$U_r(e(T))$	$\leq 0,005\%$ $0^\circ\text{C} \leq t \leq 100^\circ\text{C}$	$\leq 0,005\%$ $0^\circ\text{C} \leq t \leq 100^\circ\text{C}$	$\leq 0,005\%$ $0^\circ\text{C} \leq t \leq 100^\circ\text{C}$

# Introducción

- **Presión de saturación de vapor de agua: Ecuaciones de aproximación para la fase sólida (hielo)**

$$e(T_f) = \exp\left(\sum_{i=0}^6 a_i T_f^{i-2} + a_7 \ln T_f\right), \text{ en Pa}$$

	Wexler (1976, 1977)	Sonntag (1990)	Hardy (1998)
$a_0$	0	0	0
$a_1$	$-5,6745359 \cdot 10^3$	$-6,0245282 \cdot 10^3$	$-5,8666426 \cdot 10^3$
$a_2$	6,3925247	$2,932707 \cdot 10^1$	$2,232870244 \cdot 10^1$
$a_3$	$-9,677843 \cdot 10^{-3}$	$1,0613868 \cdot 10^{-2}$	$1,39387003 \cdot 10^{-2}$
$a_4$	$6,22157 \cdot 10^{-7}$	$-1,3198825 \cdot 10^{-5}$	$-3,4262402 \cdot 10^{-5}$
$a_5$	$2,0747825 \cdot 10^{-9}$	0	$2,7040955 \cdot 10^{-8}$
$a_6$	$-9,484024 \cdot 10^{-13}$	0	0
$a_7$	4,1635019	$-4,9382577 \cdot 10^{-1}$	$6,7063522 \cdot 10^{-1}$
$U_r(e(T))$	$\leq (0,01-0,005 \cdot t)\%$ $-100 \text{ °C} \leq t \leq 0,01 \text{ °C}$	$\leq 0,5\%$ $-100 \text{ °C} \leq t \leq 0,01 \text{ °C}$	$\leq (0,01-0,005 \cdot t)\%$ $-100 \text{ °C} \leq t \leq 0,01 \text{ °C}$

# Humedad relativa

Cociente entre la fracción molar de vapor de agua en un espacio dado ( $x$ ) y la fracción molar del vapor de agua en su condición de saturación ( $x_s$ ).

$$HR = \frac{x}{x_s} \quad (1)$$

Usando la ley de gases ideales, la fracción molar de vapor de agua se puede escribir como:

$$x = \frac{e}{P}, \quad (2)$$

Con  $P=e+P_a$   
 $P_a$ =presión del aire seco,  
 $e$  = presión parcial de vapor de agua.

La fracción molar de vapor de agua en su condición de saturación ( $x_s$ ), es decir cuando el vapor de agua se encuentra en equilibrio con agua pura, se puede calcular por medio de la siguiente expresión:

$$x_s = \frac{e_s}{P} \quad (3)$$

# Humedad relativa

Considerando que el vapor de agua presenta desviaciones respecto a un gas ideal, resulta necesario realizar una corrección por tal desviación, luego las fracciones molares deben ser corregidas tomando en cuenta este efecto.

$$x = \frac{f(P, T_d) \cdot e(T_d)}{P}, \quad (4)$$

$$x_s = \frac{f(P, T) \cdot e_s(T)}{P} \quad (5)$$

Finalmente, la humedad relativa se puede estimar por medio de la siguiente expresión:

$$\%HR = \frac{f(P, T_d) \cdot e(T_d)}{f(P, T) \cdot e(T)} \cdot 100 \quad (6)$$

# Ejemplos

## Ejemplo 1

En un almacén con temperatura controlada y a una presión de 710 hPa se obtiene una medición en temperatura de punto de rocío de 1.5 °C y la temperatura ambiente es de 20 °C. ¿Cuál es el valor de humedad relativa?

# Ejemplo 1

**Paso 1:** calcular  $e(T)$  y  $e(T_d)$

$$e(T_d) = \exp\left(\sum_{i=0}^6 a_i T_d^{i-2} + a_7 \ln T_d\right)$$

$$e(T) = \underline{2\,339.26\ Pa}$$

$$e(T_d) = \underline{6\,81.138\ Pa}$$

**Paso 2:** Calcular %HR

$$\%HR \approx \frac{e(T_d)}{e(T)} \cdot 100$$

$$\%HR = 29.12$$

# Ejemplo2

Ejemplo 2.

Calcular la temperatura de punto de rocío a partir de un valor de humedad relativa de 20 % a una temperatura de 25 °C.

**Paso 1:** Obtener el valor de  $e(T_d)$

$$\% HR \approx \frac{e(T_d)}{e(T)} \cdot 100 \quad \longrightarrow \quad e(T_d) = \frac{\% HR \cdot e(T)}{100}$$

$$e(T_d) = 633.984 \text{ Pa}$$

## Ejemplo 2

**Paso 2:** Calcular  $t_d$  / °C

Aproximación de Sonntag para estimar la temperatura de punto de rocío ( $0\text{ °C} \leq t_d \leq 100\text{ °C}$ )

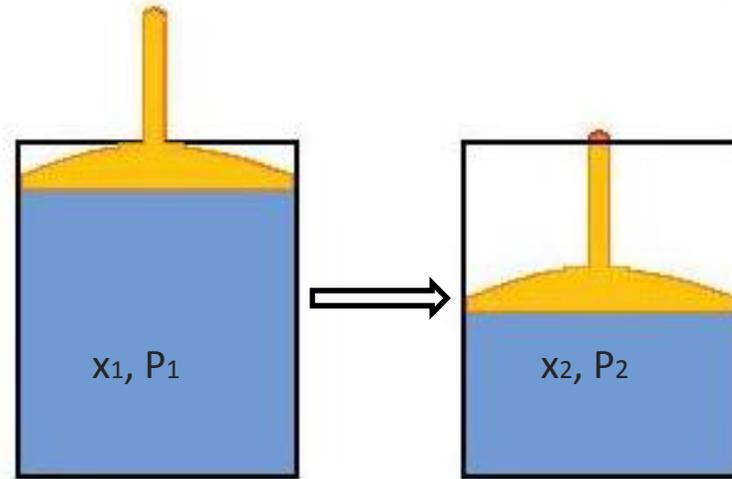
$$t_d (\text{°C}) = 13,715y + 8,4262 \cdot 10^{-1} y^2 + 1,9048 \cdot 10^{-2} y^3 + 7,8158 \cdot 10^{-3} y^4$$

donde  $y = \ln[ e(T) / 611,213 ]$

$$t_d = 0.5\text{ °C}$$

Efecto por presión

# Temperatura de punto de rocío / efecto por presión



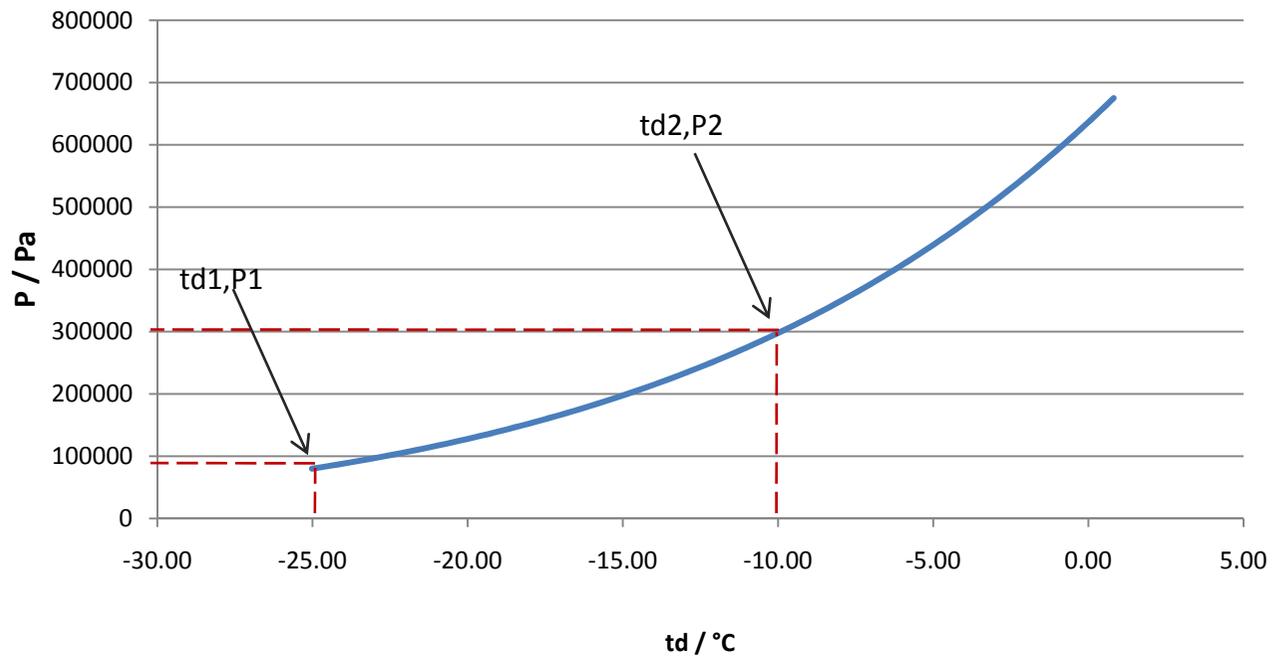
$$x_1 = \frac{e(td_1)}{P_1}$$

$$x_2 = \frac{e(td_2)}{P_2}$$

$$\frac{e(td_1)}{P_1} = \frac{e(td_2)}{P_2}$$

$$e(td_2) f(P_2, td_2) = e(td_1) \cdot f(P_1, td_1) \cdot \left( \frac{P_2}{P_1} \right)$$

# Temperatura de punto de rocío / efecto por presión



# Ejemplo 3

Ejemplo 3:

Una muestra de gas en un ducto con una presión de 800 000 Pa contiene una humedad de -5 °C de temperatura de punto de rocío. Si se extrae una muestra y se mide a presión atmosférica de 71 000 Pa, ¿Cuál es la temperatura de punto de rocío a esta presión?

**Paso 1:** Obtener el valor de  $e(Td1)$

$$e(Td1) = 421.80 \text{ Pa}$$

**Paso 2:** obtener  $e(Td2)$  a partir de

$$e(td_2) = e(td_1) \cdot \left( \frac{P_2}{P_1} \right)$$

# Ejemplo 3

**Paso 3:** Calcular la temperatura de punto de rocío

Opción a)

Métodos numéricos.

Opción b)

Aproximación de Sonntag

$$td2 = -31.67 \text{ °C}$$

# Conclusiones

Se presentaron conceptos generales de la humedad.

Se presentaron ejemplos de conversión entre *td* y *HR*

Se presentó un ejemplo del efecto por presión en la temperatura de punto de rocío.